



UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI (BENIN)

@@@@@

FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES (FSA)

@@@@@



**Analyse des pratiques culturales maraîchères
dans les bas-fonds rizicoles d'Agbédranfo-
Vovokanmey (Couffo) et de Houinga (Mono) au
sud-Bénin, et effet de l'azote sur la croissance et
la production du crincri (Corchorus olitorius L.)**

THESE

Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome

Option : *Sciences et Technique de Production Végétale*

Présentée et soutenue par:

ALISSOU Amêvi Eugène

Le 16 Février 2011

Superviseur : *Prof. AMADJI Guillaume (FSA/UAC)*

Co-superviseur :

Dr HUAT Joël (CIRAD & Africa Rice)

&

*Dr ASSOGBA KOMLAN Françoise
(PCM/INRAB)*

Composition du Jury:

Président : *Prof. KOSSOU Dansou (FSA/UAC)*

Rapporteur : *Dr HUAT Joël (CIRAD & Africa Rice)*

Examineur : *Dr. AHOTON Léonard (FSA/UAC)*

Examineur : *Dr. SAIDOU Aliou (FSA/UAC)*



UNIVERSITY OF ABOMEY-CALAVI (BENIN)

@@@@@

FACULTY OF AGRONOMIC SCIENCES

@@@@@



AfricaRice



Analysis of vegetable crop practices in lowland rice-based systems of Agbédranfo-Vovokanmey (Couffo) and Houinga (Mono) in South-Benin, and nitrogen effect on crinclin (*Corchorus olitorius* L.) growth and yield

THESIS

Submitted to obtain the degree of "Ingenieur Agronome"

Option: Sciences and Techniques of Crops Production

Presented and defended by

ALISSOU Amêvi Eugène

The February, 16th, 2011

Supervisor: Prof. AMADJI Guillaume (FSA/UAC)

Co-supervisors:

Dr HUAT Joël (CIRAD & Africa Rice)

&

*Dr ASSOGBA KOMLAN Françoise
(PCM/INRAB)*

Composition of Jury :

Chairman: *Prof. KOSSOU Dansou (FSA/UAC)*

Reporter: *Dr HUAT Joël (CIRAD & Africa Rice)*

Examiner : *Dr. AHOTON Léonard (FSA/UAC)*

Examiner : *Dr. SAIDOU Aliou (FSA/UAC)*

CERTIFICATION

Je certifie que ce travail a été réalisé sous ma supervision par Monsieur ALISSOU Amêvi Eugène, étudiant en fin de formation à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi, option: Sciences et Techniques de Production Végétale (STPV).

Le superviseur

Prof. Dr. Ir. Guillaume L. AMADJI

Maître de Conférences en Sciences du Sol, Enseignant- Chercheur à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi.

SOMMAIRE

CERTIFICATION.....	i
SOMMAIRE	ii
DEDICACES	v
REMERCIEMENTS	vi
RESUME.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTE DES ABREVIATIONS	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
LISTE DES PHOTOS	xiii
LISTE DES ANNEXES.....	xiv
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE A L'ETUDE	15
1.1- CONTEXTE	15
1.2- JUSTIFICATION DE L'ETUDE	16
CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTERATURE	18
2.1- DEFINITION DE QUELQUES CONCEPTS.....	18
2.2- MONOGRAPHIE DU CRINCRIN.....	18
2.1.1- Importance des légumes feuilles traditionnels en Afrique	18
2.1.2- Origine et répartition géographique du crincrin	19
2.1.3- Botanique du crincrin	20
2.1.4- Usages	20
2.1.5- Propriétés.....	21
2.1.6- Dormance et traitements des graines.....	22
2.1.7- Conditions écologiques	22
2.1.8- Maladies et ravageurs.....	22
2.1.9- Récolte.....	23
2.3- THEORIES SUR LA NUTRITION AZOTEE DES PLANTES	24
2.3.1- Définition de l'état de nutrition azotée des plantes	24
2.3.2- La courbe de réponse à l'azote	30
2.4- CYCLE GEOCHIMIQUE DE L'AZOTE.....	32
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES	34

3.1- ANALYSE DES PRATIQUES CULTURALES DANS LES BAS-FONDS RIZICOLES D'AGBEDRANFO-VOVOKANMEY (COMMUNE DE DOGBO) ET DE HOUINGA (COMMUNE DE HOUEYOGBE)	34
3.1-1. Objectifs et hypothèses.....	34
3.1-2. Présentation des milieux d'étude.....	35
3.1-3. Echantillonnage	39
3.1-4. Collecte de données.....	39
3.1-5. Analyse des données collectées.....	40
3.2- EFFET DE L'AZOTE SUR LA CULTURE DU CRINCRIN (<i>CORCHORUS OLITORIUS L.</i>) ET ELABORATION DE LA COURBE DE DILUTION CRITIQUE DE L'AZOTE	40
3.2-1. Objectifs et hypothèses de l'expérimentation	40
3.2-2. Choix des sites expérimentaux	41
3.2-3. Matériel biologique	41
3.2-4. Dispositif expérimental	42
3.2-5. Collecte des données	44
3.2-6. Traitement des données	45
3.2-7. Conduite de l'essai	46
Chapitre 4 : RESULTATS ET DISCUSSION	51
4.1- ANALYSE DES PRATIQUES CULTURALES DANS LES BAS-FONDS RIZICOLES D'AGBEDRANFO-VOVOKANMEY (COMMUNE DE DOGBO) ET DE HOUINGA (COMMUNE DE HOUEYOGBE)	51
4.1-1. Présentation des principaux systèmes de culture observés	51
4.1-2. Capital de production.....	53
a. La terre	53
b. La main-d'œuvre.....	54
c. Choix des variétés et gestion des semences.....	55
4.1-3. Les opérations culturales.....	57
a- Préparation du sol	57
b- La pépinière	58
c- Le semis	59
d- Désherbage.....	61
e- Irrigation	61
f- Fertilisation.....	64
g- Protection phytosanitaire	65
h- Récolte	67

4.1-4. Calendriers culturels	69
4.1-5. Rentabilité financière de la culture du crinrin, du gombo et du maïs en frais	74
CONCLUSION PARTIELLE.....	79
4.2- EFFET DE L'AZOTE SUR LA CULTURE DU CRINCRIN (<i>CORCHORUS OLITORIUS L.</i>) ET ELABORATION DE LA COURBE DE DILUTION CRITIQUE DE L'AZOTE	80
4.2-1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites d'essai	80
a- La texture	80
b- Le complexe adsorbant	80
4.2-2. Effet de l'azote sur la croissance du crinrin	83
a- Effet sur la hauteur du plant.....	83
b- Effet sur le nombre de feuilles produites	84
c- Taux de croissance.....	85
4.2-3. Effet de l'azote sur les biomasses fraîche et sèche produites	86
a- Biomasse fraîche	86
b- Biomasse sèche	89
4.2-4. Effet de l'azote sur l'indice de surface foliaire.....	90
4.2-5. Coefficients d'utilisation de l'azote	91
a- Exportation de l'azote par le crinrin.....	91
b- Coefficient apparent d'utilisation de l'azote par le crinrin	92
4.2-6. Détermination de la courbe de dilution critique de l'azote pour le crinrin (<i>Corchorus olitorius L.</i>).....	93
a- Evolution de la Biomasse sèche dans les différentes parties de la plante.....	93
b- Relation entre la teneur en azote et la biomasse sèche produite suivant les traitements	94
c- Courbe de dilution critique de l'azote dans les différentes parties aériennes de la plante	95
d- Relations entre Indice de Nutrition Azotée et paramètres de croissance du crinrin .	97
e- Utilité pratique de l'indice de nutrition Azotée (INN) pour la gestion de la fertilisation azoté	99
CONCLUSION PARTIELLE.....	100
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	102
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	103
ANNEXES	107

DEDICACES

Je dédie ce travail,

- ✓ *A mon Père ALISSOU Codjo, qui a toujours œuvré pour mon ascension sociale, cette œuvre est un aboutissement de ses efforts consentis ;*
- ✓ *A ma Mère ALISSOU Adanyro née BOSSOU, qui a inlassablement lutté pour que je sois un homme bien éduqué ;*
- ✓ *A mes frères et sœurs ainsi qu'à tous mes proches qui ont souffert de mon indifférence durant cette période de recherche, que cette œuvre comble tous leurs sacrifices consentis ;*
- ✓ *A mon amie GBEGAN Lucrèce, qui m'a toujours soutenu et encouragé à aller de l'avant ;*
- ✓ *Enfin à ma fille chérie Ahouéfa Mates Merveille, qui a dû supporter l'absence de la chaleur paternelle afin que ce travail soit réalisé. Ce mémoire est le fruit de sa parfaite sagesse, puisse le Seigneur bénir son existence.*

REMERCIEMENTS

Ce travail a été possible grâce à l'appui de plusieurs personnes à qui je tiens à témoigner ici toute ma gratitude :

- Je rends tout d'abord grâce à Dieu pour son soutien qu'il m'a accordé tout au long de ma formation et plus particulièrement au cours de ce travail ; Qu'il en soit loué.
- Je remercie le corps enseignant de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA) pour tout ce qu'il fait au quotidien pour assurer une formation de qualité ;
- Au Professeur Guillaume AMADJI (vice doyen de la FSA) qui a accepté de superviser ce travail malgré ses multiples occupations, je présente ma profonde reconnaissance ;
- Au Dr Joël HUAT (chercheur en agronomie au CIRAD et coordonateur régional du projet RAP/AfricaRice), je dis sincèrement merci pour son accompagnement et sa sollicitude constante à mon égard. Avec lui, j'ai tellement appris que ces petits mots me paraissent insuffisants ;
- Au Dr Françoise ASSOGBA KOMLAN (responsable du programme cultures maraîchères à l'INRAB) et à tous ses collaborateurs pour l'accompagnement technique et le soutien moral dont ils m'ont comblé tout au long de la réalisation de ce travail ;
- A tous les responsables d'AfricaRice, à divers niveaux hiérarchiques, pour avoir accepté de mettre à ma disposition des moyens logistiques ;
- A Monsieur AGUEMON Bavo Ignas, pour son soutien moral et son amour paternel, je lui dis infiniment merci ;
- Au Professeur NAGO Coffi Mathurin (Président de l'Assemblée Nationale, ex Doyen de la FSA), pour avoir œuvré pour mon inscription à titre de dérogation à la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), je lui présente une reconnaissance particulière ;
- Aux aînés ASSOGBA Thierry, MENSAH Armel, HODOMIHOU Richard, FASSINOU Nicodème et PADONOU Elie, pour leurs contributions ;
- A tous les producteurs des villages d'Agbédranfo, Vovokanmey et Houinga, pour m'avoir accordé leur précieux temps au cours des entretiens.

Enfin, à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail et dont les noms n'ont pas été cités, j'exprime ma profonde reconnaissance.

RESUME

La présente étude intitulée « Analyse des pratiques culturales maraîchères dans les bas-fonds rizicoles d'Agbédranfo-Vovokanmey (Couffo) et de Houinga (Mono) et effet de l'azote sur la croissance et la production du crincri (Corchorus olitorius) », vise l'amélioration de la production et des pratiques de fertilisation dans les zones de bas-fond, et de réduire les risques environnementaux des engrais minéraux utilisés par les producteurs. Elle présente deux volets : (i) enquête en milieu paysan sur les pratiques culturales dans des bas-fonds rizicoles ; (ii) recherche expérimentale basée sur l'étude de l'effet de l'azote sur la production du crincri. La dernière partie traite de la détermination de la courbe de dilution critique de l'azote.

Les résultats issus de nos enquêtes ont révélé que les modes de conduite des cultures sont similaires pour les différentes zones enquêtées à l'exception des pratiques de fertilisation, de contrôle phytosanitaire et d'irrigation. Les pratiques culturales sont globalement caractérisées par des interventions manuelles avec une utilisation de variétés locales à hauteur de 87,5% et l'emploi arbitraire des intrants (pesticides et engrais). Ainsi, la performance agronomique des systèmes de culture observés pourrait être améliorée à travers: l'élaboration de paquets technologiques respectueux des normes environnementales ; la formation des producteurs sur les bonnes pratiques et l'introduction de variétés améliorées (résistantes ou tolérantes aux maladies et ravageurs).

Concernant la recherche expérimentale, deux dispositifs de Blocs Aléatoires Complètes (BAC) à quatre répétitions ont été installés à la FSA et au PCM. L'application de doses croissantes d'azote a eu des effets significatifs au seuil de 5% sur la croissance et la production de biomasse du crincri au niveau des deux sites expérimentaux.

La courbe de dilution critique de l'azote établie avec la plante entière répond aux principes généraux de dilution de l'azote ($y=3,32x^{-0,18}$; $R^2= 0,99$). Cette courbe doit être validée au préalable et constituera une référence de fertilisation que pourront exploiter les agents techniques du développement rural notamment ceux intervenant dans les zones de bas-fonds du Mono et du Couffo pour établir des programmes de fertilisation azotée du crincri (fréquences et doses) afin de limiter les applications excessives d'azote au crincri et d'améliorer le revenu agricole des producteurs.

ABSTRACT

This study entitled “Analysis of vegetable crop practices in lowland rice-based systems of Agbédranfo-Vovokanmey (Couffo) and Houinga (Mono), and nitrogen effect on crinrin (*Corchorus olitorius* L.) growth and yield”, aims at improving yield and fertilization management in lowland rice based systems, and to reduce the environmental risks of inputs used by farmers. Two steps was implemented: (i) a survey in lowland rice-based systems to characterize famers cropping system (ii) agronomic trials carried out to study nitrogen effect on crinrin growth and yield. This last part was followed by the elaboration of critical nitrogen dilution curve for crinrin.

Driving patterns of vegetable crops cultivation practices were similar for the different studied areas excepted for fertilization, pest management and irrigation. Cultivation practices were generally manual with the use of local varieties and the misuses of pesticides and fertilizers. Thus, the agronomic performance of cropping systems observed could be improved through the development of technological packages that protect the environment, with better farmers training on best practices and uses of inputs.

As to the experimental research, two fisher blocks with four replications was installed at FSA and PCM site. The application of increasing nitrogen level had a significant effect on crinrin growth and yield ($P < 0.05$). The critical nitrogen dilution curve for crinrin established followed the general principles of nitrogen dilution ($y = 3.32x^{-0.18}$; $R^2 = 0.99$).

As practical implications of our study, these results should be validated, and could be later used as baseline by technical staff of rural development acting in lowland areas of Mono and Couffo in order to establish programs of nitrogen fertilization use (frequency and dose), so as to reduce excessive nitrogen applications and to improve producers' incomes.

LISTE DES ABREVIATIONS

ABE :	Agence Béninoise pour l'Environnement
ADRAO :	Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest et du Centre
AfricaRice Center :	Centre du Riz Pour l'Afrique
CEC :	Capacité d'Echange Cationique
CeRPA :	Centre Régional pour la Promotion Agricole
CIRAD :	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Corg :	Carbone organique
CTA :	The Technical Centre of Agriculture and Rural Co-operation
Ctotal :	Carbone total
DAGRI :	Direction de l'Agriculture
DANA :	Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée
ECVR :	Enquêtes sur les Conditions de Vie des Ménages Ruraux
EMICOV :	Enquête Modulaire Intégrée sur les Conditions de Vie des ménages
FA :	Faculté d'Agronomie
FAO :	Food and Agriculture Organisation
FCFA	Franc de la Communauté Française d'Afrique
FIDA	Fonds International de Développement Agricole
FSA :	Faculté des Sciences Agronomiques
IITA	International Institute of Tropical Agriculture
INRAB :	Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
MAEP :	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
Méq/100g :	Milliéquivalent pour 100 gramme de sol
MO :	Matière organique
OMD :	Objectifs du Millénaire pour le Développement
ONASA :	Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire
PAM :	Programme Alimentaire Mondial
PAPA :	Programme d'Analyse de la Politique Agricole
Pass :	Phosphore assimilable
PCM	Programme Culture Maraîchère
PIB :	Produit Intérieur Brut
PNUD :	Programme des Nations Unis pour le Développement
ppm :	Partie pour million
PSRSA :	Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole
Ptotal :	Phosphore total
PUASA :	Programme d'Urgence d'Appui à la Sécurité Alimentaire
SCRP :	Stratégies de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté
TSP :	Tri superphosphate
UP :	Université de Parakou

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Correspondances des mesures locales	39
Tableau 2: Calcul des doses et planning des apports d'engrais	44
Tableau 3 : Récapitulatif des variables observées.....	45
Tableau 4 : Systèmes de culture étudiés à Agbédranfo.....	51
Tableau 5 : Effectif des producteurs enquêtés par système de culture.....	52
Tableau 6 : Principales variétés observées dans les trois bas fonds.....	56
Tableau 7 : Modes de préparation du sol observés au niveau des différents systèmes de culture	57
Tableau 8 : Modes de semis observés au niveau des différents systèmes.....	60
Tableau 9: Modes de désherbage observés au niveau des différents systèmes.....	61
Tableau 10 : Modes d'irrigation observés au niveau des différents systèmes	63
Tableau 11 : Diversité des modes de fertilisation observés à Agbédranfo et Vovokanmey	64
Tableau 12 : Rendement du crincrin dans les différents systèmes étudiés	69
Tableau 13 : Rendement du gombo dans les différents systèmes étudiés.....	69
Tableau 14 : Calendrier cultural des trois villages étudiés.....	70
Tableau 15 : Compte d'exploitation de 200 m ² de culture du crincrin	74
Tableau 16 : Compte d'exploitation de 400 m ² de culture du Gombo	75
Tableau 17 : Compte d'exploitation de 200 m ² de culture du maïs vert ou maïs frais	77
Tableau 18: Caractérisation texturale des sols des sites d'essai.....	80
Tableau 19 : Principales caractéristiques chimiques du sol de la FSA et du PCM avant essai ...	80
Tableau 20 : Principales caractéristiques chimiques du sol de la FSA après essai.....	81
Tableau 21 : Principales caractéristiques chimiques du sol du PCM après essai	81
Tableau 22 : Résultats d'ANOVA de la taille des plants (site de la FSA).....	83
Tableau 23 : Résultats d'ANOVA de la taille des plants (site du PCM)	83
Tableau 24 : Résultats d'ANOVA du nombre de feuilles par plant (site de la FSA)	84
Tableau 25 : Résultats d'ANOVA du nombre de feuilles par plant (site du PCM).....	84
Tableau 26 : Résultats d'ANOVA de la biomasse fraîche produite (site de la FSA)	87
Tableau 27: Résultats d'ANOVA de la biomasse fraîche produite (site du PCM).....	87
Tableau 28 : Résultats d'ANOVA de la biomasse sèche produite (site de le FSA)	89
Tableau 29: Résultats d'ANOVA de la biomasse sèche produite (site du PCM).....	89
Tableau 30 : Résultats d'ANOVA de l'indice foliaire (site de la FSA).....	90
Tableau 31: Résultats d'ANOVA de l'indice foliaire (site du PCM)	90
Tableau 32 : Exportations moyennes d'azote par la plante à différentes périodes d'observation (Kg N/ha).....	91
Tableau 33 : Coefficient apparent d'utilisation de l'azote	92
Tableau 34 : Teneur en azote de la biomasse sèche	97
Tableau 35 : Indice de nutrition azoté des différents traitements	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Teneur en N maximale des feuilles de blé comme fonction de l'état de développement (d'après Van Dobben, 1962).	24
Figure 2 : Evolution du rapport surface/volume entraînant la « dilution » de l'azote dans la matière sèche végétale.....	25
Figure 3 : Effet des différentes fertilisations azotées (de N1 au N5) dans le profil d'azote foliaire du haut vers le bas du couvert en relation avec le rayonnement transmis dans le couvert (d'après Gastal et Lemaire, 2002).	25
Figure 4: Relation entre l'accumulation de biomasse et la concentration d'azote du couvert d'une culture de fétuque élevée à quatre niveaux de fertilisation azotée (du N1 au N4) (d'après Gastal et Durand, 2000).	27
Figure 5 : Courbes critiques des différentes espèces regroupées par route métabolique (d'après Gastal et Lemaire, 2002).	28
Figure 6 : Principes de la courbe de dilution (d'après Gastal et Lemaire, 2002).....	29
Figure 7: Ensemble et fonction de production (d'après Varian, 2003).....	30
Figure 8 : Courbe de réponse du rendement à l'azote attendue par l'agronome (d'après l'Encyclopédie des techniques agricoles, 1999)	31
Figure 9 : Cycle géochimique de l'azote (source : http://fr.wikipedia.org)	32
Figure 10 : Situation géographique des Zones d'intervention	35
Figure 11 : Diagramme ombrothermique de la zone des essais (station AfricaRice, 2010)	41
Figure 12: Schéma du dispositif expérimental	43
Figure 13 : Plan de prélèvement des échantillons	45
Figure 14 : Superficies moyennes des parcelles observées par système de culture (Source : Résultats d'enquête 2010)	53
Figure 15 : Types de main-d'œuvre exploitée par bas-fond	54
Figure 16 : Main d'œuvre familiale utilisée par opération culturale et par bas-fond (Source : Résultats d'enquête 2010)	55
Figure 17: Schéma d'une planche de pépinière en ligne à Houinga (Source : Résultats d'enquête 2010).....	58
Figure 18: Variabilité des dates de semis des cultures de diversification (Source : Résultats d'enquête 2010).....	59
Figure 19 : Usage des produits phytosanitaires à Agbédranfo (Source : Résultats d'enquête 2010)	66
Figure 20 : Evolution des quantités moyennes de crinrin récolté dans les différents systèmes étudiés (Source : Résultats d'enquête 2010)	68
Figure 21 : Evolution des quantités de gombo récolté dans les différents systèmes étudiés (Source : Résultats d'enquête 2010).....	69
Figure 22 : Organisation spatiale du périmètre aménagé d'Agbédranfo au cours de la campagne de contre saison 2010 (Source : Résultats d'enquête 2010).....	72
Figure 23 : Hauteur moyenne des plants par traitement.....	85
Figure 24: Nombre moyen de feuille par plant par traitement.....	85
Figure 25 : Taux de croissance en hauteur	86
Figure 26 : Taux de production de feuilles	86

Figure 27 : Courbe de production du crinrin	88
Figure 28 : Evolution de la matière sèche par partie aérienne	93
Figure 29 : Evolution de la matière sèche produite et sa teneur en azote suivant les traitements	94
Figure 30 : Courbes de dilution critiques d'azote dans les différentes parties aériennes du crinrin (<i>Corchorus olitorius</i>).....	96
Figure 31: Relation entre l'indice de nutrition azotée et la taille	98
Figure 32 : Relation entre l'indice de nutrition azotée et le nombre de feuilles	98

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Vue du site de Houinga.....	36
Photo 2 : Puits à grand diamètre du site de Houinga	37
Photo 3 : Canaux d'irrigation et parcelle de crincrin à Agbédranfo	38
Photo 4 : Canaux d'irrigation et parcelles rizicoles à Vovokanmey	38
Photo 5 : Puits artésien du village d'Agbédranfo.....	38
Photo 6 : Bacs de pépinière de crincrin.....	46
Photo 7: Situation initiale du site de la FSA	47
Photo 8: Situation initiale du site du PCM.....	47
Photo 9 : Etat de la pépinière 24 jours après semis.....	48
Photo 10 : Mode d'irrigation adopté	48
Photo 11 : Présentation des raies de fertilisation.....	49
Photo 12 : Mode d'irrigation gravitaire observé à Agbédranfo	63

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs moyenne des paramètres phénologiques par période d'observation.....	107
Annexe 2: valeurs moyennes de la biomasse fraîche et sèche produite par période d'observation	108
Annexe 3 : Valeurs moyenne de la surface foliaire et de l'indice de surface foliaire.....	109
Annexe 4 : résultats d'ANOVA des paramètres chimiques du sol	110
Annexe 5 : caractéristiques chimiques des échantillons de sols	112
Annexe 6 : description de la méthode des Analyses chimiques au laboratoire.....	114
Annexe 7 : Photos des différents traitements au 37 ^{ème} Jours Après Repiquage.....	116
Annexe 8 : Photos des principaux matériels utilisés	118
Annexe 9 : <i>guide d'entretien</i>	120
Annexe 10 : fiche de collecte des données de l'essai.....	125

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE A L'ETUDE

1.1- CONTEXTE

Les zones de bas-fond en Afrique Subsaharienne constituent un capital très important de diversification et d'intensification de la production agricole. Leur surface est estimée à 130 millions d'hectares soit 5% de la superficie des terres cultivables, dont seulement 10 à 15% sont exploités (ADRAO, 2002). L'intensification durable de la mise en valeur des bas-fonds semble alors selon Midingoyi (2003), la voie la plus indiquée pour stabiliser l'utilisation des terres fragiles du plateau et combler le déficit important et croissant entre la production et la consommation sur le continent.

Au Bénin, les bas fonds représentent environ 322 000 ha de terres cultivables dont 5% sont réellement exploités (DGR/CBF, 2002). Ces écosystèmes sont mis en valeur par les producteurs pour la riziculture en saison pluvieuse et le maraîchage en saison sèche. Selon les études socioéconomiques réalisées par Adétonah *et al.* (2010) dans des bas-fonds du Mono et du Couffo, les cultures maraîchères de contre saison participent fortement à l'amélioration des revenus des producteurs et par conséquent à l'amélioration de leurs conditions de vie. Mais, pour mettre en valeur les bas-fonds de manière durable, les contraintes environnementales doivent être résolues en même temps que les préoccupations économiques car ces agro écosystèmes ont une plus grande sensibilité environnementale comparativement aux plateaux.

L'azote considéré comme deuxième facteur le plus limitant après l'eau, pour la production agricole (Gonzalez, 2006), est également un important facteur de risque pour l'environnement. Il devient donc indispensable de développer des stratégies de gestion efficiente de la fertilisation azotée pour pallier les problèmes environnementaux et améliorer les revenus agricoles au regard de l'accroissement continu du prix de l'énergie qui engendre la cherté du prix des engrais.

La présente étude est financée par le projet RAP « Réalisation du Potentiel Agricole des zones de bas-fond en Afrique Subsaharienne tout en maintenant leur services environnementaux » géré par AfricaRice et s'inscrit dans le cadre de mon cursus de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. Elle vise l'amélioration de la fertilisation azotée dans les systèmes de production agricole notamment ceux des zones de bas-fonds du Mono et du Couffo (zone d'intervention du projet RAP au Bénin).

1.2- JUSTIFICATION DE L'ETUDE

L'Afrique subsaharienne est l'une des régions les plus pauvres du monde et la pauvreté semble s'y augmenter (FIDA, 2001), plus en milieu rural qu'urbain. Selon une étude de la Banque Mondiale en 2003, 70% des pauvres en Afrique vivaient en milieu rural au début des années 2000. Ainsi, pour lutter efficacement contre la pauvreté en Afrique, il est important de porter une attention particulière au secteur du développement rural. Les ressources naturelles et l'environnement doivent occuper une place considérable dans les programmes de lutte contre la pauvreté car selon FIDA (2001), les ressources naturelles disponibles dans une région ont une influence majeure sur le mode de vie et le bien-être des pauvres ruraux.

Dans les Pays en Voie de Développement (PVD), dont le Bénin, le besoin d'augmentation de la production agricole suite à la croissance démographique exponentielle, a conduit les producteurs à une utilisation intensive des intrants agricoles (engrais et pesticides) sans vraiment se soucier de leurs impacts sur l'environnement (Saïdou, 2008). Les questions environnementales deviennent donc une préoccupation majeure pour les nouvelles politiques agricoles qui se veulent durables. L'azote considéré comme deuxième facteur le plus limitant après l'eau, pour la production agricole (Gonzalez, 2006), est également un important facteur de risque pour l'environnement (pollution des nappes et des eaux superficielles, émission de gaz à effet de serre, acidification des sols...). Selon Lemaire *et al* (2008), le coût de l'engrais azoté devrait être évalué en termes de CO₂ équivalent diffusé dans l'atmosphère par les usines de fabrication de cet engrais et en termes d'émission de N₂O dans les écosystèmes agricoles en tant que gaz à effet de serre. La rationalisation de la fertilisation azotée apparaît ainsi comme une nécessité incontestable, sans tenir compte du prix des engrais qui va sans cesse croissant.

En effet, lorsque l'on veut connaître la quantité d'azote nécessaire pour obtenir un rendement donné d'une culture, il faut tenir compte de la fourniture du sol à travers les processus de minéralisation et d'immobilisation de l'azote du sol caractérisés par le rapport C/N (C/N < 20-25 implique minéralisation nette et C/N > 20-25 implique immobilisation nette). Ainsi, la quantité d'azote potentiellement fournie par le sol aux plantes est dépendante de plusieurs facteurs (nature du sol, pratiques culturales et le climat de l'année). Cette dépendance multiple rend difficile la détermination de la quantité d'azote à ajouter au sol pour obtenir un rendement donné d'une culture. Alors, des méthodes d'estimation basées sur la nutrition azotée des plantes sont utilisées pour déterminer la concentration critique des plantes en azote qui induit un taux de croissance maximal chez la plante (Ulrich, 1952) cité par Noura

Introduction générale

et al. (2008). Ces méthodes d'estimations peuvent être basées sur la concentration en azote d'une partie spécifique de la plante (feuille, pétiole) ou la plante toute entière. A cet effet, le concept d'une courbe critique d'azote a été développé par (Lemaire *et al.*, 1985) sur l'espèce (*Festuca arundinacea*) et a été appliqué avec succès au blé (*Triticum aestivum* L.) (Justes *et al.*, 1994), colza (*Brassica napus* L.) (Colnenne *et al.*, 1998), pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) (Greenwood *et al.*, 1990; et Bélanger, 2001), riz (*Oryza sativa* L.) (Sheehy *et al.*, 1998), sorgho (*Sorghum bicolor* L.) (Fourgon Oosterom *et al.* 2001), et maïs (*Zea mays*) (Plénet et Lemaire, 2000; Herrmann et Taube, 2004). La teneur critique d'azote (N_c) au cours de la phase de croissance des plantes a été représentée par une fonction géométrique décroissante: $N_c = aW^{-b}$. avec W la matière sèche aérienne totale produite à un instant (t) ; a et b sont des coefficients (Juste *et al.*, 1994).

Le crincrin (*Corchorus olitorius* L.) compte parmi les légumes feuilles traditionnels les plus consommés au Bénin et dans la sous-région de l'Afrique de l'Ouest, a été peu étudié malgré son intérêt économique et nutritionnel. Des travaux au Soudan et au Nigeria ont porté sur la production et la nutrition minérale de la plante (Schippers, 2004). Au sud Bénin, le crincrin est souvent cultivé pendant la saison sèche dans les zones de bas fond pour satisfaire les demandes de contre saison. C'est l'une des principales cultures pratiquées dans les zones de bas fond du Mono et du Couffo (zones d'interventions du projet RAP) et sa fertilisation se fait généralement avec de l'urée (engrais azoté). Ce qui présente un important risque environnemental pour les zones de bas-fonds au regard des phénomènes d'eutrophisation et de pollution des eaux souterraines

C'est au regard de ce qui précède que nous avons choisi de contribuer à l'amélioration de la fertilisation azotée dans les systèmes de production agricole notamment ceux des zones de bas-fonds du Mono et du Couffo à travers l'élaboration de la courbe de dilution critique de l'azote pour le crincrin. Pour y parvenir, nous avons dans un premier temps (i) mené des enquêtes dans trois bas-fonds du Mono-Couffo pour caractériser des pratiques culturales notamment celle de fertilisation et dans un second temps (ii) conduit un essai agronomique pour étudier l'effet de l'azote sur la croissance et la production du crincrin et établir la courbe de dilution critique de l'azote (outil de diagnostic de l'état de nutrition azoté).

CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE

2.1- DEFINITION DE QUELQUES CONCEPTS

Le système de culture: le système de culture tel que défini par Sebillotte (1974, 1990), cité par Huat (2008) est « l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière homogènes. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues ».

L'itinéraire technique : l'itinéraire technique désigne quant à lui l'organisation des techniques appliquées à une culture, c'est-à-dire « la combinaison logique et ordonnée de techniques mises en œuvre sur une parcelle en vue d'en obtenir une production ».

La parcelle culturale : la parcelle culturale est définie comme une « pièce de terre d'un seul tenant portant, au cours du cycle cultural donné, la même culture ou la même association de cultures gérée par un seul individu ou par un groupe déterminé d'individus » (Milleville 1972, 1976). Cette définition fait donc référence au cycle cultural comme échelle temporelle.

Courbe critique de dilution de l'azote : selon Greenwood *et al.* (1986, 1991), la teneur en azote critique ou « optimale » est définie comme la teneur en azote minimale nécessaire pour avoir un taux de croissance maximal.

La concentration en azote à chaque point de la courbe critique de dilution est la concentration minimale observée à un temps (t) donné parmi les traitements qui produisent le maximum de matière sèche à ce moment (t). Il correspond au niveau de concentration en azote de la biomasse à partir duquel la quantité de matière sèche aérienne produite n'augmente plus significativement quand bien même on augmente la dose d'azote apportée à la plante et que la plante en absorbe davantage (Justes *et al.*, 1994).

2.2- MONOGRAPHIE DU CRINCRIN

2.1.1- Importance des légumes feuilles traditionnels en Afrique

Les légumes feuilles traditionnels sont des espèces africaines de grande diversité et à usages multiples. Ils jouent un rôle important dans les régimes alimentaires de toutes les

populations du monde, particulièrement en Afrique, en Asie et en Océanie, où ils assurent la partie essentielle des besoins nutritionnels et médicaux. Les légumes traditionnels (ou indigènes, par opposition aux légumes exotiques des pays tempérés) sont généralement plus riches en éléments minéraux, vitamines et facteurs nutritionnels, sans présenter de facteurs antinutritionnels réducteurs (Bailey, 2003). Les richesses en fer, vitamines A et C correspondent à des enjeux de santé particulièrement significatifs dans les pays où l'on compte de nombreux cas d'anémie causés par le paludisme, et de déficience immunitaire. Les fortes concentrations minérales assimilables alliées aux faibles teneurs en substances antinutritionnelles (acides phytique ou tannique, oxalates) en font de recommandables suppléments diététiques. Ces légumes présentent également la particularité d'être fortement colorés, traduisant une concentration élevée en caroténoïdes, qui ont des propriétés antioxydantes favorables à la santé humaine. Ainsi, ils pourraient jouer un rôle extrêmement important dans la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté en Afrique (Attere, 1999). Et ce, d'autant plus que c'est dans ce continent on note les problèmes aigus de pauvreté et de malnutrition et les personnes les plus touchées sont les groupes vulnérables (enfants, femmes et les personnes âgées) (FAO, 1996).

2.1.2- Origine et répartition géographique du crincrin

L'origine géographique du crincrin est souvent controversée, car on le cultive depuis des siècles tant en Asie qu'en Afrique, et il est présent à l'état sauvage sur les deux continents. Certains auteurs considèrent l'Inde ou la région indo-birmane comme le centre d'origine du crincrin et de plusieurs autres espèces de *Corchorus*. Cependant, la présence en Afrique d'un plus grand nombre d'espèces sauvages de *Corchorus* et plus grande diversité génétique à l'intérieur de *Corchorus olitorius* indiquent que l'Afrique serait le premier centre d'origine du genre avec un centre secondaire de diversité dans la région Indo-birmane. Actuellement, *Corchorus olitorius* est largement répandu dans toutes les régions tropicales.

En Afrique tropicale il est signalé comme légume sauvage ou cultivé dans de nombreux pays. C'est un légume-feuilles important en Côte-d'Ivoire, au Bénin, au Nigeria, au Cameroun, Soudan, au Kenya, en Ouganda et au Zimbabwe. Le crincrin ou la corète potagère est également cultivée comme légumes-feuilles dans les Caraïbes, au Brésil, en Inde, au Bangladesh, en Chine, au Japon, en Egypte et au Proche-Orient. Elle est cultivée pour la production de jute en Asie (Inde, Bangladesh, Chine) comme *Corchorus capsularis* L. mais en Afrique elle ne joue aucun rôle en tant que plante à fibres, même si on peut faire un usage domestique de cette fibre.

2.1.3- Botanique du crincrin

Famille : Tiliaceae (APG : Malvaceae) ;

Nombre de chromosome $2n= 14$;

Noms locaux : Ninnouwi (Fon), Ayoyo (Ifè), Ooyo (Tchabè), Yoyo (Idatcha), Nénouwi (Mahi), Adèmain (Cotafon), Aluilui (Wémè), Ayoyo, Yoyo (Anii, Dendi, Ifè, Idatcha, Kotocoli, Lokpa), Démi (Adja), Èyo (Holly), inapouwopouwona (Gourmantché), Ninnouwi (Fon, Mahi), Oyo (Tchabè), Yoyora, Sékéfèèma (Waama), Tifanhanti (Ditamari), Yôyôkoun (Bariba), Yôyôgoula (Boko), Kprala (Baoulé, Côte d'Ivoire) ;

Noms communs : Corète potagère, Mauve du juif, Jute à longs fruits, Jute potager, crincrin (Français) ;

Nalta jute, Tussa jute, Jew's mallow, Jute mallow, crincrin, Bush okra, (English).

L'espèce *Corchorus olitorius* contient plusieurs variétés. Les caractères foliaires permettent de les distinguer aisément : dentelure, forme, couleur et brillance du limbe. Les deux variétés les plus fréquentes au Nigéria sont Oniyaya, qui atteint 150cm de haut et possède de nombreuses branches ainsi que des feuilles larges, profondément dentées, et Amugbadu, encore plus haut et doté de grandes feuilles oblongues finement dentées. On trouve plusieurs autres morphotypes mineurs locaux, tels que Eleti ehoro, avec de petites feuilles ovales semblables à des oreilles de lapin, finement dentées, Eti eku, dont la forme des feuilles rappelle les oreilles d'un rat ou encore Yaya. Des variétés similaires se rencontrent également au Bénin et au Togo.

2.1.4- Usages

Le crincrin est utilisé comme légume-feuilles mucilagineux. Les feuilles cuites donnent une sauce gluante, comparable à celle de gombo. Au Nigeria, on trouve que cette sauce accompagne bien la consommation des boulettes féculentes faites avec du manioc, de l'igname ou du mil. Pendant la saison sèche, on utilise la poudre des feuilles séchées pour préparer cette sauce. Les fruits immatures, qu'on appelle « bush Okra » (« gombo de brousse »), sont également séchés et réduits en poudre en vue de la préparation de cette sauce gluante. En Afrique de l'Est, il existe plusieurs recettes : le crincrin peut être cuit avec du niébé, du potiron, des feuilles de taro, de la patate douce, du lait et du beurre, de la viande, et relevée avec du piment et du citron.

Le jute a été pendant plus de 100 ans la fibre la plus largement utilisée pour l'emballage grâce à sa solidité, sa facilité de fabrication et sa disponibilité en grande quantité

homogène. Néanmoins, la production de jute est insignifiante en Afrique. Les types de *Corchorus olitorius* utilisées comme légume –feuilles sont assez différents de ceux utilisés pour la production de jute

Des lamelles de racine de crincriin sont utilisées au Kenya pour traiter les maux de dents, une décoction de racine sert de tonique, des jeunes pousses de feuilles servent contre les troubles cardiaques au Congo, une infusion de feuille est absorbée contre la constipation en Tanzanie, l'infusion de feuille plus du citron est absorbée contre la fièvre typhoïde et le paludisme au Bénin et les graines servent de purgatif et de fébrifuge au Nigeria.

2.1.5- Propriétés

La composition des feuilles de *Corchorus olitorius* est la suivante pour 100 g de partie comestible : eau 80,4 g (74,2-9,1 g), énergie 243KJ (58 Kcal) , protéine 4,5 g , lipides 0,3g , glucides 12,4 mg ,fibres 2,0 g Ca 360 mg P 122 mg , Fe 7,2 mg B-carotène 6410 µg , Thiamine 0,15 mg, riboflavine 0,53 mg, niacine 1,2mg, acides ascorbique 80 mg (Leung ,W.-T.W.,Busson , F.& Jardin , 1968). Cette composition correspond à celle d'autres légumes – feuilles vert-foncés, mais la teneur en matière sèche des feuilles fraîches de la corète est plus élevée que la moyenne. La composition et en particulier la teneur en micronutriments sont fortement influencées par des facteurs externes tels que la fertilité du sol et la fertilisation. L'utilisation d'engrais azoté améliore largement la teneur en micronutriments, par Ex. le Fe, le P, le Ca, le carotène et la vitamine C.

Le polysaccharide mucilagineux des feuilles est riche en acide uronique 65% et est composé de rhamnose, de galactose, de glucose, d'acide galacturonique et d'acide glucuronique dans un rapport molaire de 1,0: 0,2 : 0,2 : 0,9 : 1,7 en plus des 3,7% de groupement acétyles.

Les fibres de jute proviennent du liber. Leur utilisation se limite à la fabrication de produits grossiers, car le rapport longueur/diamètre des filaments de jute n'est que de 100-120, bien au dessous du minimum de 1000 nécessaire pour avoir une bonne qualité de filage. Les cellules de fibres font 2-2,5 mm de long et 15-20 µm de diamètre. Les cellules de fibres sont collées entre elles en filaments atteignant 250 mm de long. La résistance à la rupture du jute est de 395-775 MPa, l'allongement à la rupture est seulement de 1-2%. Le jute a une température d'inflammation faible de 193°C, ce qui présente un risque non négligeable d'incendie dans les entrepôts

Les feuilles du crincriin contiennent des composés phénoliques antioxydants, dont le plus important est l'acide 5-caféoylquinique. Certaines ionones glucosides ont également été

isolées des feuilles; ils ont montré une activité inhibitrice de libération d’histamine à partir de cellules d’exsudat péritonéal du rat induite par réaction antigène –anticorps. Les grains sont toxiques pour les mammifères et les insectes. Elles contiennent des hétérosides cardiaques.

2.1.6- Dormance et traitements des graines

La dormance des graines constitue un problème majeur pour la production du crincrin. Une solution générale consiste à les chauffer dans un sac de tissu qu’on plonge dans l’eau frémissante (75°C à 80°C) pendant 5 à 10 secondes. Il faut ensuite créer un second choc thermique en plaçant le sac dans de l’eau froide (20°C 25°C) pendant 5 à 15 minutes. On étend ensuite les graines sur un linge sec pour les faire sécher à l’ombre pendant une journée au maximum. Les graines traitées doivent être semées immédiatement car elles ne peuvent être conservées. Cette méthode permet d’obtenir une excellente germination et des plantules homogènes. Les graines traitées à la chaleur peuvent en effet germer au bout de quatre à sept jours alors que le temps de germination de graines non traitées est d’une semaine à un an.

2.1.7- Conditions écologiques

Le crincrin est cultivé dans des zones climatiques très diverses à des altitudes allant du niveau de la mer à 1200 m environ. Il est peu adapté aux températures froides et sa croissance est ralentie durant les mois d’harmattan (de Janvier à Mars au Bénin), secs et froids, que connaissent les régions s’étendant entre 8° de latitude nord et la méditerranée (Schippers, 2004). Les conditions optimales sont un climat humide (600 à 2000 mm de précipitations/an), des températures comprises entre 25 et 32 °C, des sols limono-sableux riches en matière organique. Il se développe moins bien sous des arbres ou quand il est en permanence à l’ombre. Au Nigéria, le rendement varie de 20 t à 25t /ha mais des essais complets réalisés par MBAH-NGAMI en 1998 au Cameroun ont donnés 38 t/ha pour la variété Ewondo avec 20 tonnes de fumier de volaille/ha ha (Grubben *et al.*, 2004).

2.1.8- Maladies et ravageurs

Le crincrin résiste plutôt bien aux maladies et aux ravageurs. *Sclerotium rolfsii*, responsable de la pourriture du pied et de flétrissement, représente parfois un problème. Des espèces de *Curvularia* donnent des taches noires sur les feuilles, et des *Cercospora* des taches circulaires sur des feuilles. Ces maladies fongiques sont contenues par une culture sur les planches bien drainées et par des espacements larges. Une maladie virale transmise par des cicadelles et causant une déformation des feuilles et un retard de croissance a été identifiée au Nigeria.

Les ravageurs les plus nuisibles sont le criquet puant (*Zonocerus variegatus*), des chenilles (*Acrea spp.*), la légionnaire (*Spodoptera littoralis*) et des altises (*Podagrica spp.*). Pendant la saison sèche, des acariens rouges (*Tetranychus cinnabarinus*) attaquent souvent les feuilles. La lutte par pulvérisation avec des pesticides recommandés est rarement appliquée.

Le crincri est très sensible aux nématodes à galle (*Meloidogyne spp.*). Les méthodes de lutte comprennent la rotation des cultures, en évitant de mettre en culture des plantes sensibles aux nématodes à galle pendant au moins un an, et le maintien d'une bonne teneur du sol en matière organique.

2.1.9- Récolte

La première récolte à lieu environ 4-6 semaines après le repiquage en coupant des pousses longues de 20 -30 cm à une hauteur de 10-20 cm au dessous du sol. Cette coupe favorise le développement de rejets latéraux. Ensuite, on peut effectuer une coupe toutes les 2-3 semaines, avec un total de 2-8 coupes. Pour une récolte unique d'une culture en semis direct, les plantes sont arrachées ou coupées au ras du sol lorsqu'elles font 30-40 cm de haut, 3-5 semaines après la levée et avant le développement des fruits. Les plantes sont mises en bottes pour la vente. Dans les systèmes de cultures associées, les paysans ont tendance à récolter à intervalles irréguliers. Le crincri sauvage est récolté dans la nature au fur et à mesure des besoins, et habituellement pour la consommation domestique.

Une culture pour la production de jute est généralement récoltée 100-120 jours après le semis, lorsque les plantes commencent à fructifier

2.3- THEORIES SUR LA NUTRITION AZOTEE DES PLANTES

2.3.1- Définition de l'état de nutrition azotée des plantes

La caractérisation de l'état de nutrition azotée est plus complexe que celle de l'état hydrique des plantes. En effet, la théorie de la tension - cohésion offre un cadre purement physique qui est bien défini et l'état physique potentiel de l'eau libre ($\Psi=0$) correspond le plus souvent à un optimum physiologique. Par contre, le cas de l'état de nutrition azotée est très différent. La relation entre l'accumulation de matière sèche et l'absorption d'azote rend difficile la détermination d'une teneur optimale d'azote. En effet, la demande en N est pilotée par la croissance en matière sèche, la relation n'étant pas linéaire. Il a été démontré que la teneur en N maximale diminue au cours du cycle (Figure.1) (Angus et Moncur, 1985 ; Van Keulen et Seligman, 1987).

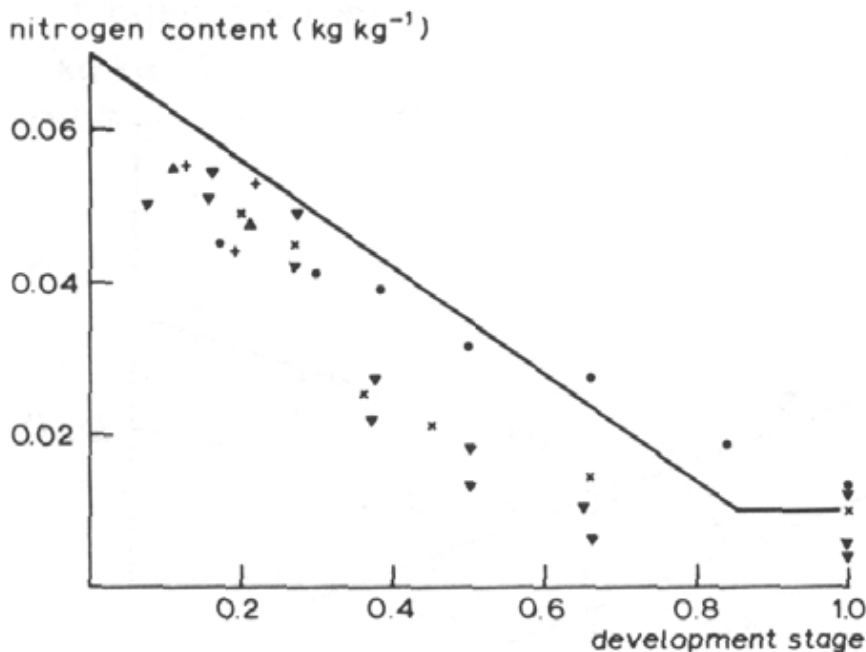


Figure 1 : Teneur en N maximale des feuilles de blé comme fonction de l'état de développement (d'après Van Dobben, 1962).

La cause de cette diminution est la dilution de l'azote dans le volume de la plante. La teneur en N des plantes, essentiellement présent dans les parties métaboliquement actives des organes aériens, est plus corrélée avec la surface qu'avec le volume du végétal (Figure 2).

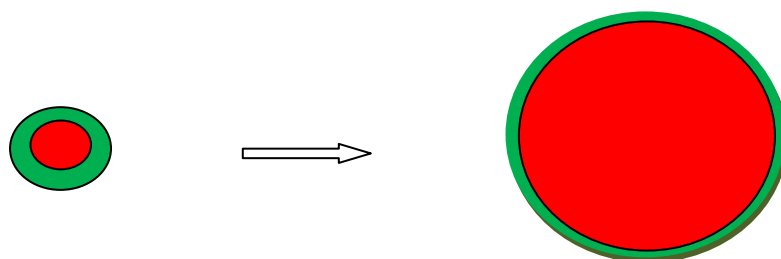


Figure 2 : Evolution du rapport surface/volume entraînant la « dilution » de l'azote dans la matière sèche végétale.

Cette relation entre la teneur en N de la plante et sa surface émerge aussi du rapport existant entre la quantité d'azote dans les feuilles et le rayonnement incident. Gastal et Lemaire (2002) ont démontré, pour cinq niveaux de fertilisation azotée différents, qu'il existe une relation linéaire très étroite entre la teneur en N des feuilles et le rayonnement incident (Figure 3). Ce sont les feuilles directement exposées au rayonnement qui ont la teneur en N maximale dans le couvert, ce qui permet l'optimisation de l'utilisation de l'azote par rapport à l'assimilation du carbone (Hirose et Werger, 1987 ; Hikosaka *et al.*, 1994 ; Gastal et Lemaire, 2002).

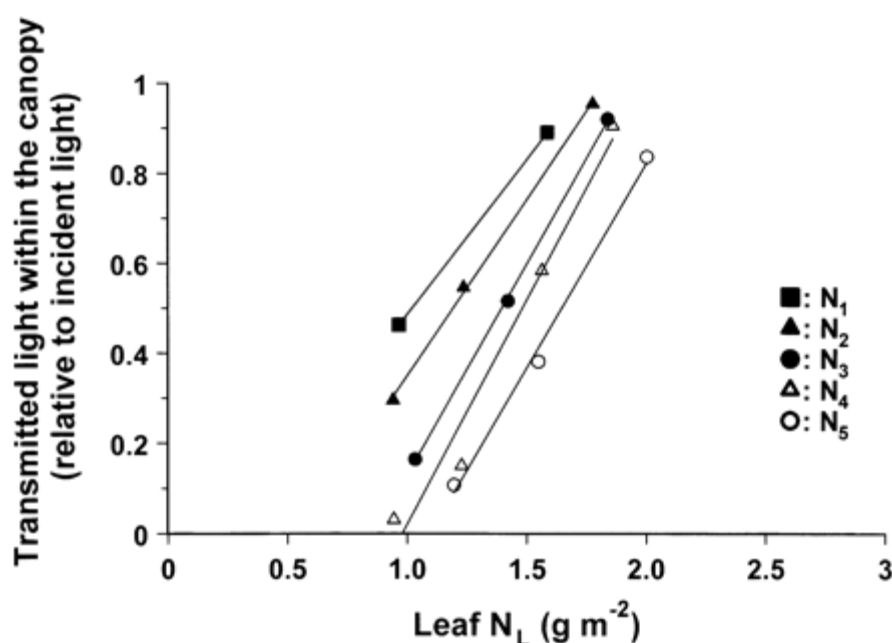


Figure 3 : Effet des différentes fertilisations azotées (de N1 au N5) dans le profil d'azote foliaire du haut vers le bas du couvert en relation avec le rayonnement transmis dans le couvert (d'après Gastal et Lemaire, 2002).

D'autre part, au fur et à mesure que la plante croît, la proportion (en masse) des tissus structuraux et de stockage, pauvres en N, augmente et en conséquence la teneur en N total de la plante diminue (Greenwood *et al.*, 1990). Les travaux de recherche des indices permettant la caractérisation de l'état de nutrition azotée ont été nombreux. Overman *et al.* (1995) ont développé un modèle qui relie la croissance de la culture avec le régime de fertilisation, mais il ne prend pas en compte l'azote réellement disponible pour la culture et il est difficilement extrapolable en dehors des conditions du développement du modèle (Jeuffroy *et al.*, 2002 ; Nkoa *et al.*, 2003). Les indices utilisant la teneur en N du sol semblent insuffisants pour la caractérisation de l'état de nutrition azotée. En conditions contrôlées, il a été démontré que le rapport entre l'absorption d'azote (soit NO_3^- ou NH_4^+) et la concentration des ions dans la solution du sol suit une loi du type hyperbolique avec plusieurs phases cinétiques (Rao et Rains, 1976 ; MacDuff *et al.*, 1989 ; Tischner, 2000 ; Glass *et al.*, 2002). Devienne- Barret *et al.* (2000) ont également démontré ce type de relation au champ. Lemaire et Meynard (1997) montrent que l'azote disponible pour les plantes n'est pas déterminé exclusivement par la teneur en azote du sol, mais aussi par les conditions existant au sein du sol, qui déterminent la croissance racinaire et l'activité des racines. Ils citent le déficit hydrique et la structure du sol comme les deux facteurs principaux qui limitent la nutrition en azote des plantes. Toutefois, comme on l'a déjà dit, la relation entre l'absorption d'azote et l'état de nutrition azotée n'est pas directe, mais dépend de la croissance. D'autres travaux ont cherché, au niveau de la plante, le meilleur indice pour définir l'état de nutrition azotée. Chez les cultures à grains (le blé, par exemple), l'indice typiquement utilisé est l'indice d'azote de récolte (IAR), défini comme la teneur en azote des grains par rapport à la teneur en azote totale de la plante (Birch *et al.*, 1997). Lecoœur et Sinclair (2001) ont proposé une analyse de la distribution de l'azote basée en IAR, mais l'IAR est décrit comme un paramètre dépendant d'autres variables que la distribution d'azote. L'utilisation de l'IAR reste valable pour les cultures à grains mais il ne décrit que le résultat à la récolte et pas l'état de nutrition azotée pendant l'évolution de la culture. Porter (1993), ainsi que Hunt et Pararajasingham (1995), ont développé respectivement, les indices utilisés dans les modèles AFRCWHEAT2 et CROPSIM_Wheat où des valeurs minimales et maximales sont fixées en fonction de l'état de développement de la culture de façon similaire à Van Keulen et Seligman (1987). Olesen *et al.* (2002) ont utilisé l'indice de nutrition azotée développé par Angus et Moncur (1985) pour l'étude de l'effet du déficit de nutrition azotée sur le développement de la surface foliaire. Le désavantage de ces types d'indices est que l'azote considéré « maximal » peut être nettement plus élevé que la teneur optimale, à partir de laquelle, l'augmentation de l'azote absorbé

n'entraîne pas une augmentation de matière sèche formée. Les indices de l'état de nutrition azotée basés sur l'état de développement ne permettent pas non plus la comparaison entre espèces, étant donné que les différentes phases de cultures sont variables d'une espèce à l'autre. Vidal *et al.* (1999) ont proposé l'utilisation des mesures de chlorophylle chez le blé comme indice de l'état de nutrition azotée dans le modèle CERES. Chez le brocoli, Nkoa *et al.* (2003) ont développé un modèle mathématique où la demande en azote est calculée au moyen des fonctions qui relient dans le temps la teneur en azote de la plante et une teneur en azote critique. La teneur en azote optimale ou « critique » est définie comme la teneur en azote minimale nécessaire pour avoir un taux de croissance maximale (Greenwood *et al.*, 1986, 1991).

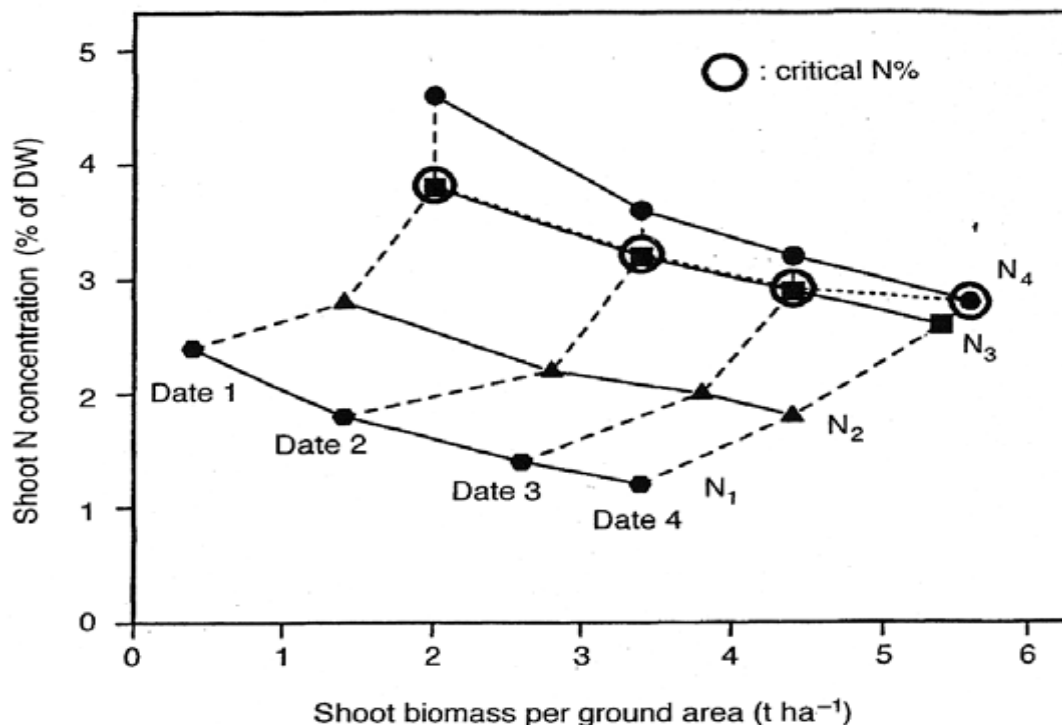


Figure 4: Relation entre l'accumulation de biomasse et la concentration d'azote du couvert d'une culture de fétuque élevée à quatre niveaux de fertilisation azotée (du N1 au N4) (d'après Gastal et Durand, 2000).

Lemaire et Salette (1984) ont étudié le rapport entre la teneur en azote de la partie aérienne chez la fétuque élevée et le dactyle (en %) récoltée à la motofaucheuse et sa teneur en matière sèche. A partir de plusieurs niveaux de fertilisation azotée (Figure 4), ils ont déterminé la teneur en azote critique, i.e., la teneur en azote à partir de laquelle il n'y a pas d'augmentation de la teneur en matière sèche. Cette courbe, dénommée courbe critique, semble très stable entre les deux espèces. La fonction de cette courbe est du type : $\%N = a \cdot MS^{-b}$ (1) a étant égal à 4.8 et b à 0.36 chez la fétuque élevée.

A partir de ce travail, d'autres expériences ont montré la validité de cette courbe pour un grand nombre d'espèces (blé : Justes *et al.*, 1994 ; petit pois : Ney *et al.*, 1997 ; colza : Colnenne *et al.*, 1998 ; patate : Bélanger *et al.*, 2001 ; maïs et sorgho : Greenwood *et al.*, 1990 ; maïs : Plénet et Lemaire, 1999). Parmi toutes les espèces, le principal facteur introduisant des différences est le type métabolique, C3 et C4 (Figure 5) (Greenwood *et al.* 1990).

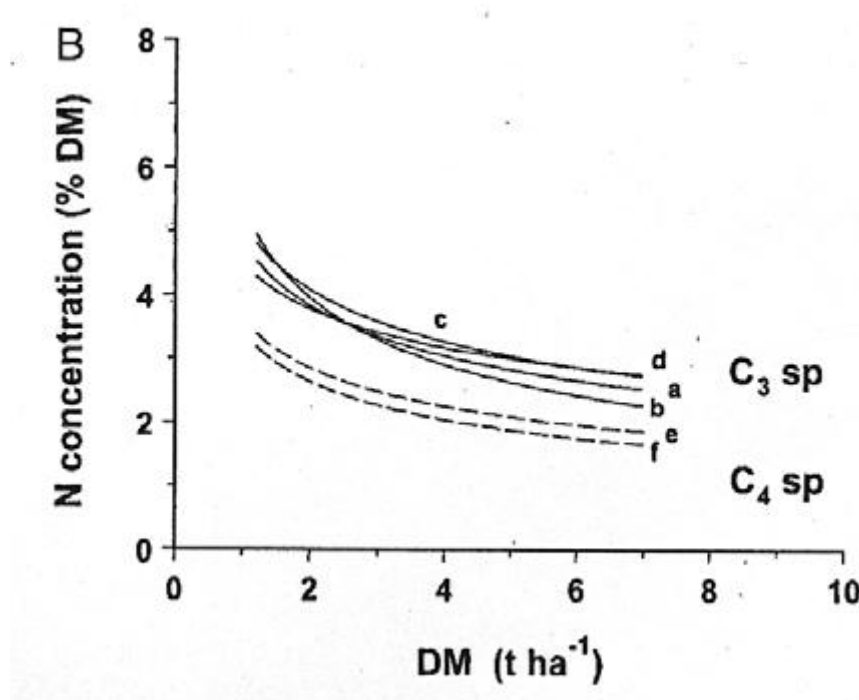


Figure 5 : Courbes critiques des différentes espèces regroupées par route métabolique (d'après Gastal et Lemaire, 2002).

a : fétuque élevée et dactyle ($Nc\% = 4.8W - 0.33$; Lemaire et Salette, 1984) ;

b : blé ($Nc\% = 5.35W - 0.442$; Justes *et al.*, 1994) ;

c : petit pois ($Nc\% = 5.08W - 0.32$; Ney *et al.*, 1997) ;

d : colza ($Nc\% = 4.48W - 0.25$; Colnenne *et al.*, 1998) ;

e : maïs et sorgho ($Nc\% = 4.1W - 0.5$; Greenwood *et al.*, 1990) ;

f : maïs ($Nc\% = 3.4W - 0.37$; Plénet et Lemaire, 1999).

La variation au sein de chaque voie métabolique est nettement inférieure aux différences entre C3 et C4. Les espèces C4 ont une teneur en azote critique inférieure à celles des espèces C3 à la même biomasse, probablement due à leur plus faible teneur en protéines photosynthétiques (Gastal et Lemaire, 2002). La courbe de dilution implique que la dilution de l'azote, en fonction de l'état de développement est, en réalité, liée à la croissance aérienne. L'avantage de la courbe de dilution est qu'elle dépend exclusivement de la croissance, indépendamment des conditions externes, permettant l'extrapolation dans l'espace ou le

temps. La courbe critique sépare ainsi l'espace en deux régions (Figure 6): une région supra optimale (au dessus de la courbe) et une région sub-optimale (en dessous de la courbe). Tous les points qui se trouvent dans la région sub-optimale indiquent une déficience en azote pour la croissance.

Chez les graminées fourragères, un autre avantage de la courbe de dilution est la possibilité de faire rapidement le lien avec la productivité (kg MS ha⁻¹j⁻¹ ou lg Nha⁻¹j⁻¹). A partir de la courbe de dilution, Lemaire et Gastal (1997) ont développé l'indice de nutrition azotée (INN), qui est le rapport entre la teneur en azote aérien à un moment donné et la teneur en azote critique donnée par la courbe pour sa biomasse (Figure 6).

$$INN = \frac{N_o}{N_c} \quad \text{Avec}$$

NNI= Indice de nutrition azoté d'un peuplement au champ ;
No= teneur en azote d'un échantillon prélevé au champ ;
Nc= teneur critique de l'azote correspondant au rendement observé

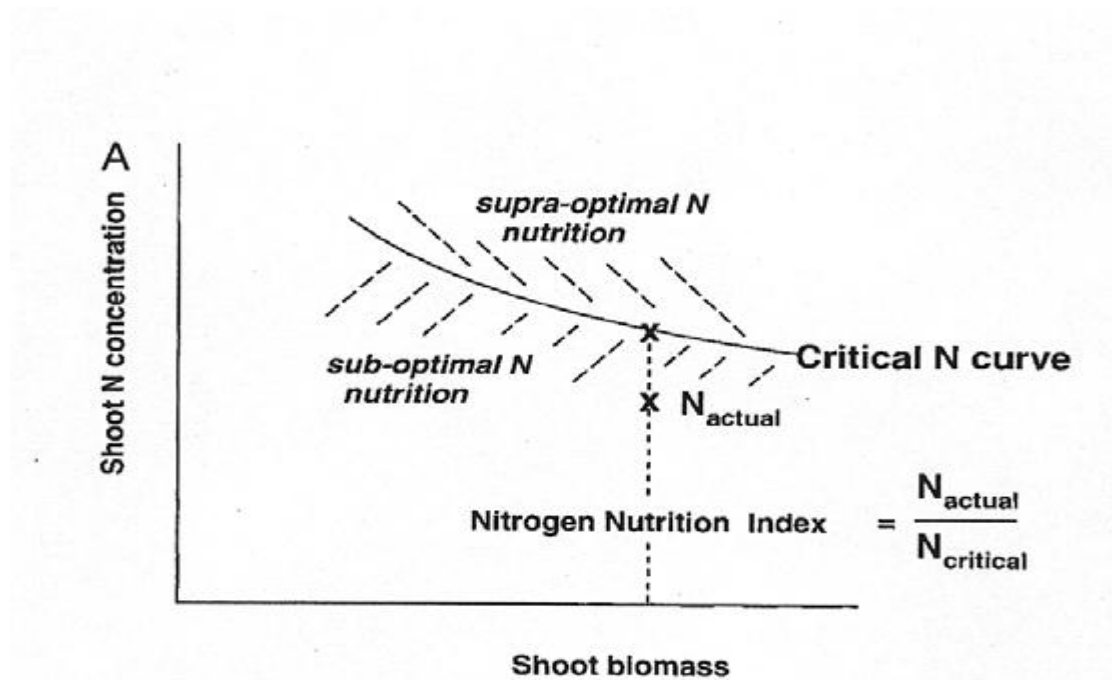


Figure 6 : Principes de la courbe de dilution (d'après Gastal et Lemaire, 2002)

En conséquence, tout INN avec une valeur égale ou supérieure à 1 indique un état de nutrition azotée optimale. Par contre, une valeur inférieure à 1 indique une déficience en azote.

2.3.2- La courbe de réponse à l'azote

En économie, la notion de fonction de réponse du rendement à l'azote d'une culture renvoie à la notion de fonction de production. En effet, l'azote est considéré comme un facteur de production, *i.e.* il fait partie des « entités, personnes physiques ou objets économiques, dont les services sont utilisés lors des opérations de production » (Varian, 2003). Dans le cas d'une production agricole, les facteurs de production peuvent être l'azote, l'eau, le travail de l'agriculteur, etc. L'ensemble de toutes les combinaisons d'intrants (ou facteurs de production) et de produits correspondant à un processus de production techniquement réalisable est appelé un ensemble de production (voir Figure 7). Les intrants représentant un coût pour l'exploitation agricole, on ne considère que le produit maximum correspondant à chaque niveau d'intrant donné : cette frontière est représentée par une fonction appelée de production. Elle mesure la quantité de produit maximum qu'il est possible d'obtenir à partir de quantités fixées d'intrants. Les fonctions de production en agriculture ne sont pas un concept nouveau mais elles ont été exploitées par Godard *et al.* (2008) pour décrire une relation spécifique de l'azote et du rendement des cultures avec un aspect économique de la production.

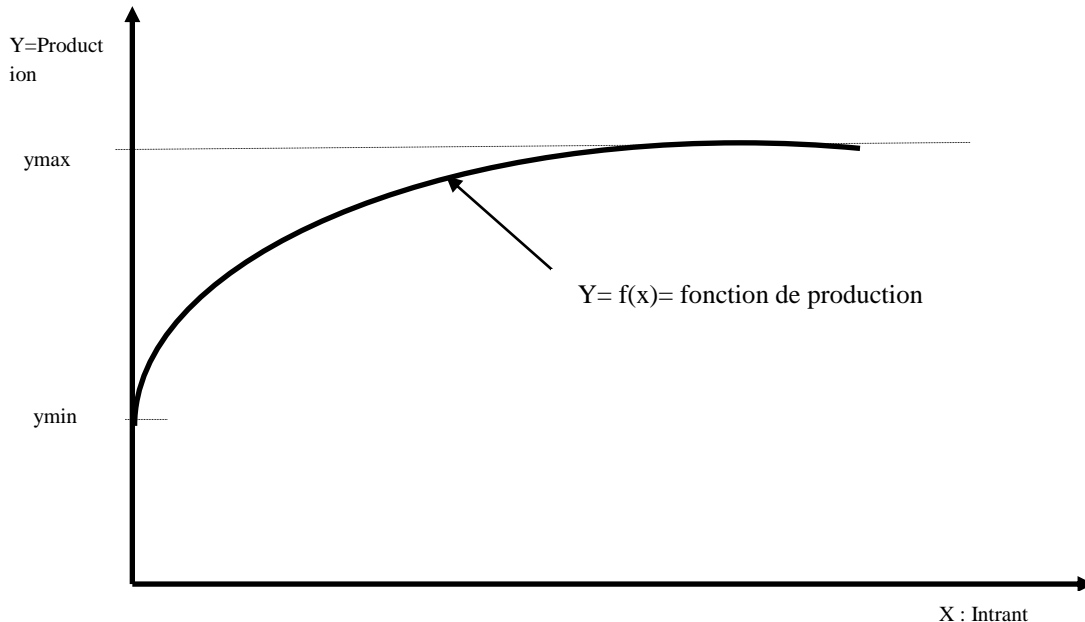


Figure 7: Ensemble et fonction de production (d'après Varian, 2003)

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour construire des fonctions de production. En économie agricole en particulier, les statistiques, mais aussi les informations provenant de modèles techniques peuvent être utilisées. En se basant sur les résultats des travaux les plus

récents, et l'analyse de la littérature, Godard *et al.* (2008) ont choisi la fonction exponentielle pour construire la courbe de réponse à l'azote. Selon eux, cette fonction permet de répondre le mieux possible aux critères agronomiques et économiques. Ils ont explicité cette fonction ainsi :

$$r = B - (B - A) \times e^{-tN}$$

Avec

r : rendement de la culture

A : rendement minimum de la culture

B : rendement maximum de la culture

t : taux « d'accroissement »

N : quantité totale d'azote issue de l'engrais de synthèse apportée à la culture

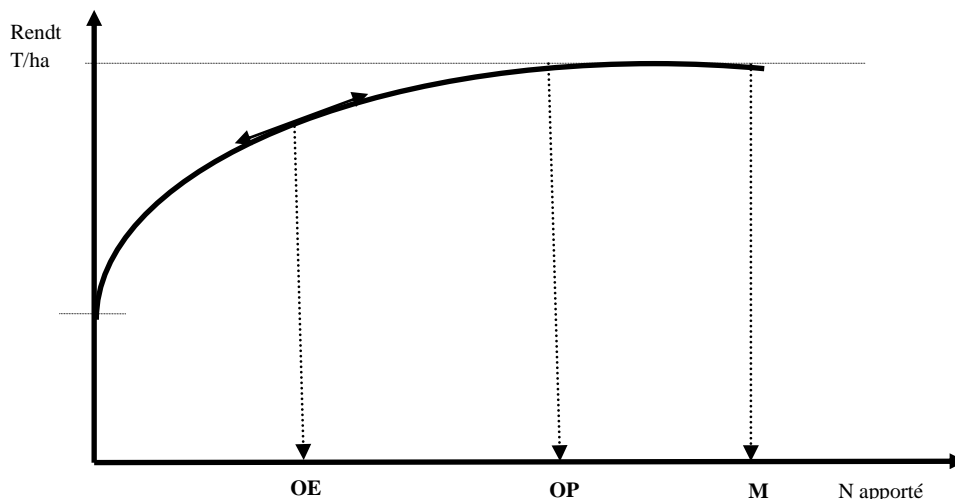


Figure 8 : Courbe de réponse du rendement à l'azote attendue par l'agronome (d'après l'Encyclopédie des techniques agricoles, 1999)

OE : optimum économique, dose au delà de laquelle le gain marginal lié au supplément de récolte ne compense plus la dépense due à l'application d'azote supplémentaire

OP : optimum physique correspondant à la dose d'engrais la plus faible permettant d'avoir le rendement le plus élevé (si conjointement la qualité de la récolte n'est pas améliorée, il y a « consommation de luxe »)

M : Dose qui permet d'obtenir le rendement maximal (égal à celui obtenu avec Op), au delà, le rendement décroît, ceci peut être dû à une toxicité de l'élément fertilisant.

La détermination de la courbe de réponse du rendement de chaque culture à l'azote, repose principalement sur l'hypothèse de rationalité économique de l'agriculteur. Ainsi, la maximisation de la marge brute, pour un hectare d'une culture j , se traduit par :

$$\max \pi_j / N = P_j \cdot r_j(N) - w \cdot N \quad \text{et } N \geq 0$$

avec

p_j : prix de vente de la culture j

r_j : rendement de la culture j

w_j : prix de l'azote de l'engrais attribué à la culture j

N : quantité d'azote issu de l'engrais attribué à la culture j

En écrivant les conditions du premier ordre : \square

$$\frac{\delta \pi}{\delta N} = 0 \Leftrightarrow \frac{\delta r_j}{\delta N} = \frac{W}{P_j}$$

Ce qui signifie qu'à l'optimum économique (profit maximal), la pente de la tangente à la courbe $r_j(N)$ (valeur de la dérivée) égale le rapport du prix de l'azote sur le prix de vente de la culture. Cette propriété permet de définir l'optimum économique.

2.4- CYCLE GEOCHIMIQUE DE L'AZOTE

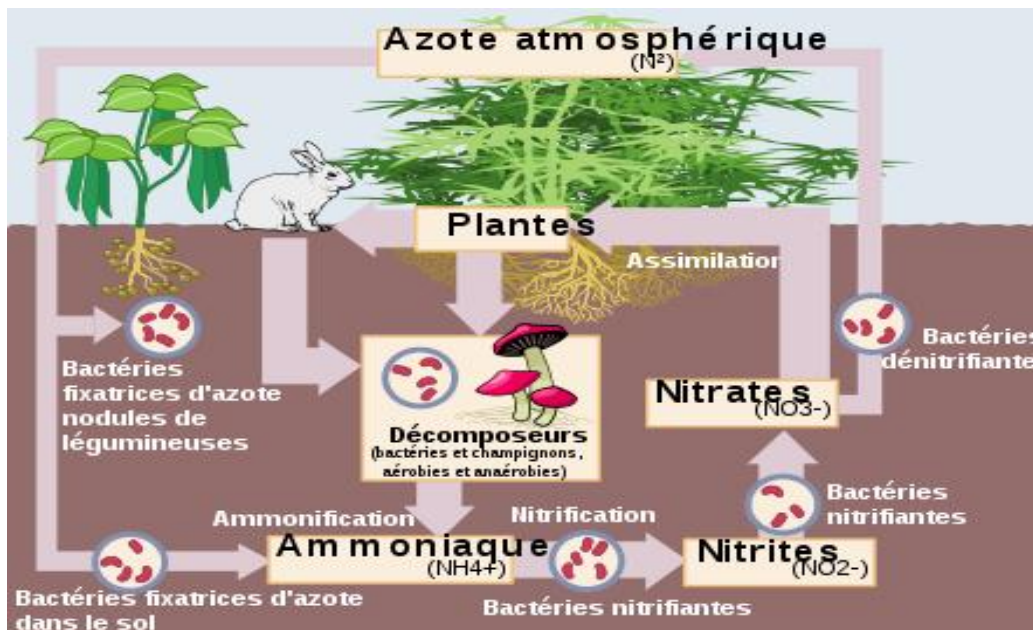


Figure 9 : Cycle géochimique de l'azote (source : <http://fr.wikipedia.org>)

L'atmosphère est la principale source d'azote, sous forme de diazote, puisqu'elle en contient 79 % en volume. L'azote, composé essentiel à de nombreux processus biologiques, se retrouve entre autres dans les acides aminés constituant les protéines, et dans les bases azotées présentes dans l'ADN. Des processus sont nécessaires pour transformer l'azote atmosphérique en une forme assimilable par les organismes.

L'azote atmosphérique est fixé par des bactéries présentes dans le sol, telles que *Azobacter vinelandii*, grâce à une enzyme, la nitrogénase. Celles-ci produisent de

l'ammoniaque (NH_4OH) à partir de l'azote atmosphérique et de l'hydrogène de l'eau. Certaines de ces bactéries, comme *Rhizobium*, vivent en symbiose avec des plantes, produisant de l'ammoniaque nécessaire aux plantes, en contrepartie des glucides de la plante dans la rhizosphère. L'ammoniaque peut aussi provenir de la décomposition d'organismes morts par des bactéries saprophytes sous forme d'ions ammonium (NH_4^+).

Dans les sols bien oxygénés, mais aussi en milieu aquatique oxygéné, des bactéries transforment l'ammoniac en nitrite (NO_2^-), puis en nitrates (NO_3^-), au cours du processus de nitrification. On peut décomposer cette transformation en nitritation et nitratisation. Les végétaux absorbent grâce à leurs racines les ions nitrate (NO_3^-) et, dans une moindre mesure, l'ammonium présent dans le sol, et les incorporent dans les acides aminés et les protéines. Les végétaux constituent ainsi la source primaire d'azote assimilable par les animaux. En milieu Anoxique, (sol ou milieu aquatique non oxygéné) des bactéries dites dénitrifiantes transforment les nitrates en gaz diazote, c'est la dénitrification.

CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES

L'approche méthodologique adoptée se présente en deux parties :

- une première partie qui concerne l'analyse des pratiques culturelles dans les bas-fonds rizicoles d'Agbédranfo-Vovokanmey (commune de Dogbo) et de Houinga (commune de Houéyogbé) ;
- et une deuxième partie qui concerne l'essai agronomique portant sur effet de l'azote sur la culture du crincrin (*Corchorus olitorius L.*) et élaboration de la courbe de dilution critique de l'azote.

3.1- ANALYSE DES PRATIQUES CULTURALES DANS LES BAS-FONDS RIZICOLES D'AGBEDRANFO-VOVOKANMEY (COMMUNE DE DOGBO) ET DE HOUINGA (COMMUNE DE HOUHEYOGBE)

3.1-1. Objectifs et hypothèses

a- Objectifs

L'objectif général de cette étude est d'analyser les pratiques culturelles dans les bas-fonds rizicoles d'Agbédranfo-Vovokanmey (commune de Dogbo) et de Houinga (commune de Houéyogbé) en vue de l'amélioration des performances des systèmes de culture spécifiquement à travers des pratiques de fertilisation efficiente.

De façon spécifique, il s'agira de:

- 1- identifier les différents itinéraires techniques des principales cultures pratiquées en contre saison à Agbédranfo-Vovokanmey (commune de Dogbo/Couffo) et Houinga (commune de Houéyogbé/Mono) ;
- 2- établir les calendriers culturels pratiqués à Agbédranfo, Vovokanmey (commune de Dogbo/Couffo) et Houinga (commune de Houéyogbé/Mono).

b- Hypothèses

Ces objectifs sont soutenus par les hypothèses suivantes:

H1: Les pratiques culturelles observées dans les bas fonds d'Agbédranfo, Vovokanmey et Houinga sont peu variables d'un bas-fond à un autre.

H2 : Les calendriers culturels diffèrent d'un bas-fond à un autre.

3.1-2. Présentation des milieux d'étude

La présente étude est réalisée dans trois bas-fonds du Mono-Couffo préalablement identifiés comme sites pilotes du projet RAP. Il s'agit des bas-fonds d'Agbédranfo et de Vovokanmey dans la commune de Dogbo/Couffo et le bas-fond de Houinga dans la commune de Houéyogbé/Mono. Nous avons porté le choix sur ces agro écosystèmes compte tenu de la place importante qu'ils occupent dans la diversification des revenus agricoles. La figure 10 indique la situation géographique des milieux d'interventions au Bénin et dans les communes respectives.

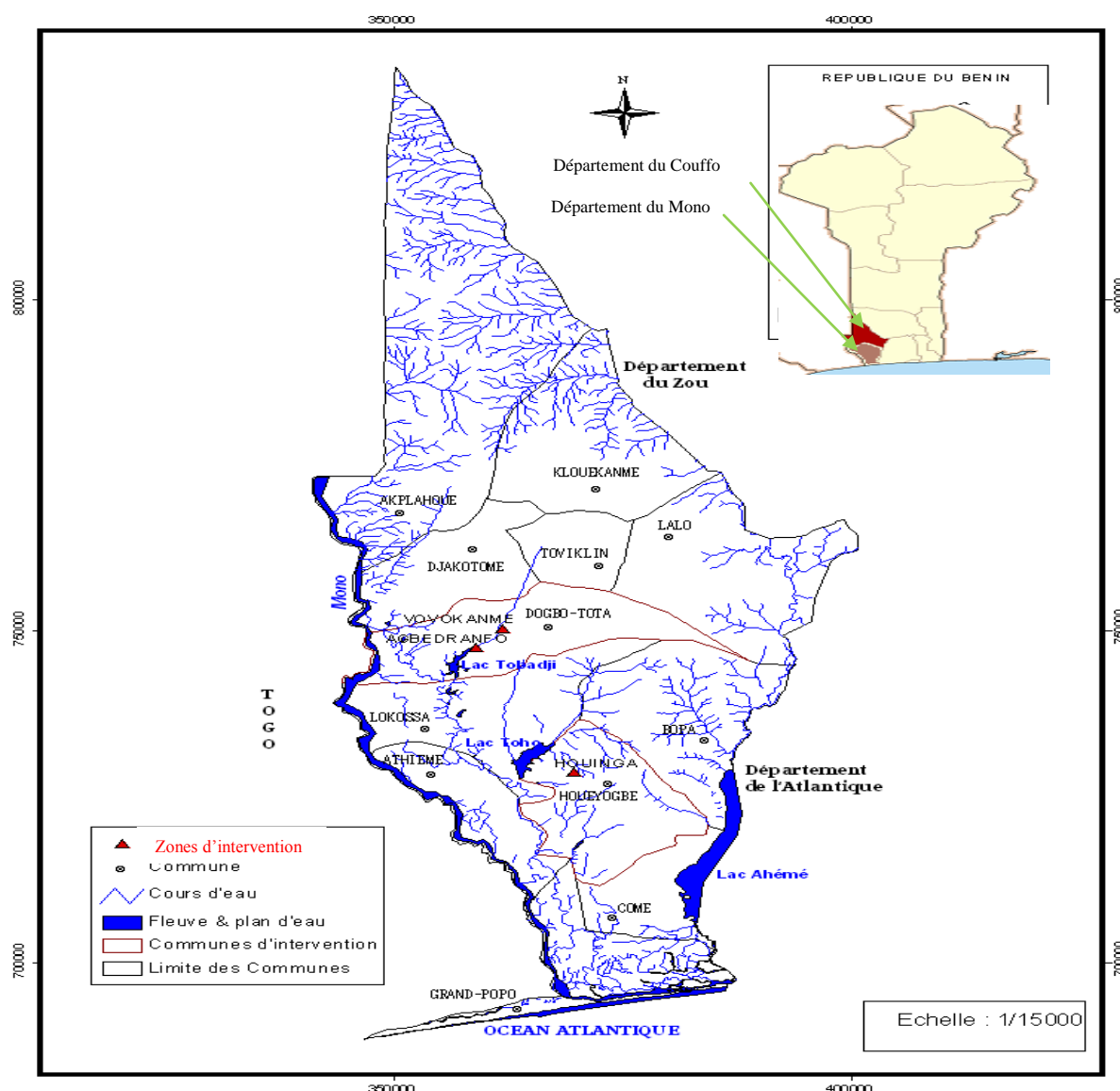


Figure 10 : Situation géographique des Zones d'intervention

Les trois bas-fonds étudiés sont sous un climat subéquatorial. Ils sont marqués par des températures élevées, mais non excessives qui tournent autour de 27,5°C. L'humidité relative moyenne est de 80%. (MAEP *et al*, 2008b).

a- Présentation du bas-fond de Houinga

Le bas-fond de Houinga localement appelé « Sissoétannou » est localisé dans le village Houinga dans la commune de Houéyogbé et dans l'arrondissement de Zoungbonou. Il est situé au Nord-Est à 150 m du village et à 6 km de l'axe routier Cotonou-Lokossa. Le bas-fond de Houinga couvre selon l'avis des producteurs plus de 200 ha. Cependant la superficie exploitée au cours de la campagne 2009-2010 était d'environ 7 ha.

Le bas-fond de Houinga peut être classé dans la catégorie des bas-fonds à fond plat. En effet, il est très large et s'allonge d'Ouest en Est sur plusieurs kilomètres. Les pentes longitudinales et transversales sont très faibles. Les caractéristiques hydrologiques du bas-fond sont inhérentes aux ressources en eau du village. Le bas-fond draine en effet les eaux de ruissellement qui transitent par la mare Sissoétan située en aval de la partie exploitée avant de se jeter dans le lac Toho. C'est d'ailleurs cette mare qui donne son nom au bas-fond Sissoétannou. Les crues ne sont pas violentes, et il n'y a pas de lit mineur très marqué. La période d'inondation se situe entre août et septembre. La période des hautes eaux est observée en septembre avec une lame d'eau moyenne de 0,50 m dans le lit mineur juste après les averses. L'alimentation du bas-fond par les eaux de ruissellement fait que l'assèchement intervient aussitôt après l'arrêt des pluies. Cette situation est à l'origine des difficultés d'exploitation surtout en saison sèche (MAEP *et al*, 2008b).

La pénurie d'eau observée en saison sèche et qui entrave la poursuite des activités de maraîchage dans le bas-fond de Houinga a amené l'ONG PROTOS à initier la réalisation d'un puits à grand diamètre. Malheureusement le forage du puits a été entravé à 22 m de sa profondeur par une roche et il faudra plus de moyens que prévus pour finaliser les travaux. L'entreprise qui conduisait les travaux a dû les abandonner en attendant qu'une disposition soit prise.



Photo 1 : Vue du site de Houinga



Photo 2 : Puits à grand diamètre du site de Houinga

b- Présentation du bas-fond d'Agbédranfo

Le bas-fond d'Agbédranfo est situé dans le village d'Agbédranfo, commune de Dogbo dans l'arrondissement d'Ayomi. Il s'étend à l'Ouest du village sur plus de 40 ha le long de la vallée qui lui a donné naissance et a reçu un aménagement sur une superficie de 10ha 13a. C'est une vallée qui draine des eaux du puits artésien du village, des eaux de pluies et des eaux provenant de l'inondation du fleuve Mono. Ainsi, les sources d'eau du bas-fond sont le puits artésien dont le débit mesuré est de 20 l/s, les eaux de ruissellement et les crues du fleuve Mono. Il présente une pente longitudinale (Nord-Sud) de 3% dans la partie haute contre 0,8% dans la partie basse.

Le bas-fond d'Agbédranfo subit régulièrement d'inondation dans sa partie basse à partir d'octobre du fait du débordement du fleuve Mono. La hauteur d'eau ruisselante atteint parfois 1,80 m dans le lit mineur. Cette hauteur d'eau empêche toute activité agricole dans la partie non aménagée pendant les saisons pluvieuses. L'inondation sur la portion réservée à la riziculture qui peut atteindre 0,40 m de lame d'eau occasionne parfois des dégâts (MAEP *et al*, 2008a). L'aménagement du bas-fond est composé de bassins pour la prise d'eau, des prises d'eau en regard avec vanne, des canaux d'apport et de drainage de l'eau, des casiers rizicoles et des étangs piscicoles.

Notons que le bas fond de Vovokanmey a environ les mêmes caractéristiques que le bas fond d'Agbédranfo : les deux bas-fonds sont alimentés par des puits artésiens qui rendent l'eau permanente sur les sites, ils se situent dans une même commune (Dogbo) et dans un même arrondissement (Ayomi). Mais à Vovokanmey, les canaux d'irrigation sont réalisés sur des diguettes qui laissent facilement l'eau s'infiltrer (voir photo 4). C'est la raison pour laquelle le problème de maîtrise d'eau se pose encore dans ce bas-fond car lorsqu'on irrigue une parcelle donnée, l'eau s'infiltré sur les parcelles voisines où l'on ne désire pas d'eau en ce moment.



Photo 3 : Canaux d'irrigation et parcelle de crinrin à Agbédranfo



Photo 4 : Canaux d'irrigation et parcelles rizicoles à Vovokanmey



Photo 5 : Puits artésien du village d'Agbédranfo

3.1-3. Echantillonnage

Au démarrage de cette étude, une phase exploratoire a été réalisée dans les trois bas-fonds étudiés (bas-fonds d'Agbédranfo, de Vovokanmey et de Houinga). Cette phase exploratoire a consisté au recensement des producteurs qui font les cultures de diversification en saison sèche dans les bas fonds rizicoles d'Agbédranfo, Vovokanmey et Houinga. Une liste de 121 producteurs a été constituée et une typologie des producteurs a été faite suivant les systèmes de cultures identifiés par bas-fond. Ainsi, l'échantillon des producteurs enquêtés pour la phase de l'étude approfondie représente 5 producteurs choisis par tirage aléatoire au niveau de chaque catégorie de producteurs soit 40 producteurs sur 121 au niveau des trois bas-fonds. La distribution de cet échantillon par bas-fonds et par système de culture se présente dans le tableau 5.

3.1-4. Collecte de données

Les 40 producteurs répartis dans les trois bas-fonds ont été enquêtés au cours de la campagne de contre saison 2009-2010 (janvier 2010 à mars 2010) suivant un questionnaire semi structuré qui renseigne sur les opérations culturales et leurs modalités, les dates et fréquences de réalisation et les intrants utilisés (voir questionnaire en annexe). L'approche système a pris en compte l'ensemble des activités de production agricole de l'exploitation aussi bien dans le bas-fond que dans la zone de plateau. L'évaluation quantitative des produits utilisés ou récoltés et des superficies des parcelles a été faite sur la base des unités de mesure locales qui sont ensuite reconverties à partir des correspondances établies avec des outils appropriés sur le terrain (voir tableau 1).

Tableau 1 : Correspondances des mesures locales

Unités locales	Correspondances
Kantin (Kt)	400 m ²
Petit verre de sodabi	5 cl
Bassine de gombo	20 kg
Panier de crincrin	4 kg
Tohoungodo d'Urée	0,66 kg
Tohoungodo d'NPK	0,90 kg
Tohoungodo de semence de crincrin	0,65 kg
Sogoh	3 Tohoungodo

Source : Résultats d'enquête (2010)

3.1-5. Analyse des données collectées

On a fait une analyse descriptive des données collectées : calcul des moyennes, écart-types et fréquences. Des représentations graphiques ont été réalisées afin de mieux présenter et interpréter les résultats.

3.2- EFFET DE L'AZOTE SUR LA CULTURE DU CRINCRIN (*CORCHORUS OLITORIUS L.*) ET ELABORATION DE LA COURBE DE DILUTION CRITIQUE DE L'AZOTE

3.2-1. Objectifs et hypothèses de l'expérimentation

a- Objectifs

L'objectif global de cette étude est d'étudier l'effet de l'azote sur la culture du crinclin (*Corchorus olitorius L.*) et d'élaborer la courbe de dilution critique de l'azote en vue d'améliorer les pratiques de fertilisation du crinclin dans les bas-fonds rizicoles d'Agbédranfo, Vovokanmey et Houinga.

De manière spécifique, il s'agit de :

- étudier l'effet de l'azote sur la croissance du crinclin (hauteur du plant et nombre de feuille) ;
- étudier l'effet de l'azote sur la production de biomasse fraîche et sèche du crinclin ;
- élaborer la courbe de dilution critique de l'azote pour le crinclin.

b- Hypothèses

Les hypothèses qui soutiennent ces objectifs sont :

H1 : l'azote a une influence significative sur la croissance du crinclin ;

H2 : l'azote a une influence significative sur la production du crinclin ;

H3 : la courbe de dilution critique de l'azote établie pour le crinclin sur le plateau d'Abomey Calavi répond bien au principe général de dilution de l'azote définis par Lemaire *et al.* , 1985.

3.2-2. Choix des sites expérimentaux

Les essais ont été conduits à Abomey Calavi sur les sites d'expérimentation de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA/UAC) et du Programme Cultures Maraîchères (PCM/INRAB). Ces deux sites ont été choisis pour des raisons de proximité des équipements de laboratoire nécessaires pour la conduite des essais. On disposait également suffisamment de place sur ces deux sites pour la mise en place des essais.

La figure 11 présente l'évolution de la pluviométrie et de la température moyenne à Abomey-calavi au cours de la période des essais. Les essais sont réalisés précisément dans la période de fin Août au début Novembre.

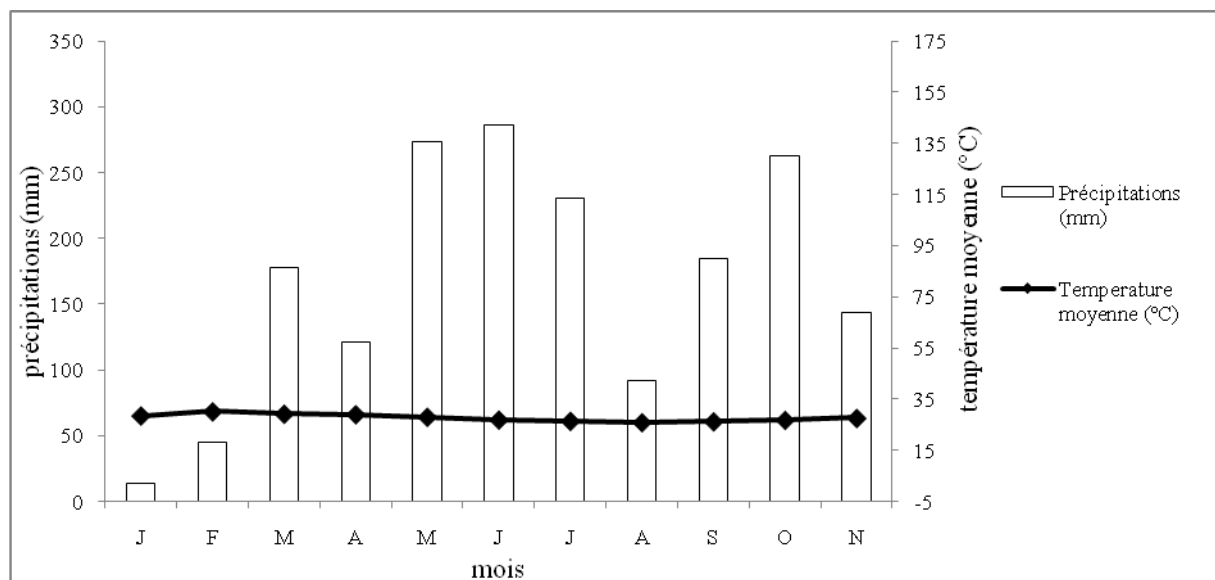


Figure 11 : Diagramme ombrothermique de la zone des essais (station AfricaRice, 2010)

3.2-3. Matériel biologique

Le matériel végétal utilisé pour les essais est le crincri (*Corchorus olitorius L.*). C'est l'espèce la plus fréquente et la plus cultivée en Afrique du genre *Corchorus*. Au Bénin, il n'existe par encore une caractérisation variétale du *Corchorus olitorius* mais deux principales variétés sont observées :

Une variété à feuilles larges, profondément dentées, est fréquemment rencontrée dans le département des collines et plus précisément dans le périmètre aménagé d'Odo-Otchere. Elle répond mieux aux caractéristiques de la variété Oniyaya cultivée au Nigéria ;

Une variété à feuilles ovales semblables à des oreilles de lapin et de plus petite taille, est rencontrée dans le sud, particulièrement dans les départements du Mono et du Couffo. Elle répond davantage aux caractéristiques de la variété Eleti ehoro du Nigéria.

C'est cette dernière variété qui sera utilisée dans notre étude compte tenu de son intérêt dans les zones de bas-fonds du Mono Couffo (zone d'intervention du Projet RAP).

3.2-4. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental qui a abrité l'essai est un Bloc Aléatoire Complet de Fisher avec six (6) traitements représentant 6 doses d'azote (0, 30, 60, 120, 180, 240 kg/ha) et quatre (4) répétitions. Ces doses ont été choisies au regard du rendement potentiel du crinrin et du prélèvement en azote de l'amarante pris comme culture similaire à défaut d'information disponible sur le crinrin dans la littérature.

En effet, l'amarante prélève 125 kg N/ha pour produire un rendement de 25 t/ha (Grubben G.J.H. *et al*, 2004) ce qui donne un ratio de 5 kg N par tonne de production. En se référant à ce ratio et au rendement potentiel du crinrin estimé à 38 t/ha (Sheppers, 2004), on évalue à 190 kg N/ha la dose d'azote correspondante. Par ailleurs, cette dose se rapproche de celle appliquée par les producteurs d'Agbédranfo (188 Kg N/ha). C'est ainsi que nous avons choisi d'aller un peu au-delà de cette dose pour créer une marge de sécurité par rapport à cette estimation.

La surface d'une parcelle élémentaire est de 5,10 m x 1,2 m, soit 6,12 m² (voir schéma). Les écartements de plantation sont de 30 x 30 cm, soit quatre (4) lignes de semis et dix sept (17) plants par ligne, ce qui nous permettra d'avoir suffisamment de plants pour faire les observations et les prélèvements successifs au cours de l'essai. Les parcelles élémentaires sont séparées les unes des autres par des passe-pieds de 40 cm de largeur et les blocs sont séparés par des allées de 1 m (voir figure 12).

Ce même dispositif a été installé sur les deux sites expérimentaux mais le site du PCM n'a pu recevoir que 5 traitements au lieu de 6 par défaut d'emplacement. Ainsi, le traitement T4 (180Kg N/ha) a été soustrait des traitements prévus pour l'essai.

Le type d'engrais azoté utilisé dans le cadre de cette étude est l'urée $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$. C'est un sel blanc de forme granulée contenant 46% d'azote. Par contre, les sources de phosphore et de potassium utilisées sont respectivement le triple superphosphate (TSP) contenant 46% de phosphore et le sulfate de potassium (K_2SO_4) à 50% de potassium (K) et 18% de soufre (S). Le tableau 2 ci-dessous présente les différentes quantités d'engrais apportés par parcelle élémentaire et les fréquences d'apport.

Matériel et méthodes

Tableau 2: Calcul des doses et planning des apports d'engrais

Traitements	T0 (0 kg N ha ⁻¹)	T1 (30 kg N ha ⁻¹)	T2 (60 kg N ha ⁻¹)	T3 (120 kg N ha ⁻¹)	T4 (180 kg N ha ⁻¹)	T5 (240 kg N ha ⁻¹)
Qté d'urée (46%) à appliquer par surface élémentaire (6,12 m ²) au 8 ^{ème} JAR	0 g	10 g	20 g	40 g	60 g	80 g
Qté d'urée (46%) à appliquer par surface élémentaire (6,12 m ²) au 18 ^{ème} JAR	0 g	10 g	20 g	40 g	60 g	80 g
Qté d'urée (46%) à appliquer par surface élémentaire (6,12 m ²) au 28 ^{ème} JAR	0 g	10 g	20 g	40 g	60 g	80 g
Qté d'urée (46%) à appliquer par surface élémentaire (6,12 m ²) au 38 ^{ème} JAR	0 g	10 g	20 g	40 g	60 g	80 g
Qté de TSP (46%) à appliquer par surface élémentaire (6,12 m ²) en fumure de fond	27 g					
Qté de K ₂ SO ₄ (50%) à appliquer par surface élémentaire (6,12 m ²) en fumure de fond	49 g					

JAR= Jour Après Repiquage

Nous faisons le choix de ne pas amener de matière organique à cause du risque de ne pas trouver de différence entre les traitements. En effet, la plante absorbe très rapidement l'azote pendant la phase de végétation (de manière exponentielle) et le flux de fourniture d'azote via la minéralisation de la matière organique sera grand, surtout dans nos conditions expérimentales de climat chaud. Il nous sera difficile de faire la part entre l'azote issu de la minéralisation rapide du sol et de celui de l'engrais de synthèse.

3.2-5. Collecte des données

Des échantillons sont prélevés chaque semaine au cours du cycle de culture à partir de la 2^{ème} semaine après repiquage jusqu'à la 7^{ème} semaine après repiquage soit au total six prélèvements. Le prélèvement d'échantillon consiste à couper au ras du sol (au collet) cinq plants pris de façon consécutive sur une ligne centrale dans chaque unité expérimentale et les emballer séparément (tiges, feuilles et organes de reproduction) dans des sacs étiquetés (voir figure 13 : plan de prélèvement des échantillons).

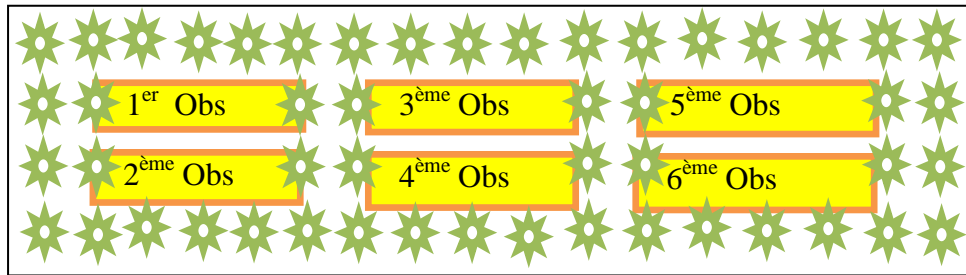


Figure 13 : Plan de prélèvement des échantillons

Avant ce prélèvement, on fait une observation des paramètres de croissance tels que : La hauteur des plants (collet-apex) et le nombre de feuilles (feuilles entièrement déployées sur la tige principale et sur les ramifications). On mesure également la surface foliaire des plants avec un Area meter LI-3000A. Ces observations sont suivies de la pesée du poids frais total des feuilles (feuille + pétiole), des tiges et des organes de reproduction de façon séparée. Les mesures du poids de la matière sèche totale et la concentration en azote sont faites après séchage à l'étuve (55°C pendant 72 heures).

Tableau 3 : Récapitulatif des variables observées

Types de variables		Lieu de collecte	Outils
Variables mesurées	Hauteur plant	Au champ	Mètre ruban
	Nombre de feuilles par plant		Comptage visuel
	Surface foliaire		(Area meter LI-3000A)
	Poids frais de la biomasse	Au laboratoire	Balance électronique (0,1g)
	Poids de la matière sèche		Balance électronique (0,01g)
	Concentration en azote (N)		Dosage par la méthode de Kjeldahl
Variables calculées	Indice de surface foliaire (LAI)	Au laboratoire	$LAI = \frac{\text{surface foliaire}}{\text{surface de terre exploitée}}$
	Indice de nutrition azoté (INN)		$INN = \frac{No}{Nc}$

3.2-6. Traitement des données

Le logiciel Excel a été utilisé pour la constitution de base de données, le calcul des moyennes et la construction des diagrammes. L'analyse de variance (ANOVA) des rendements frais et sec, des paramètres phénologiques (nombre de feuilles et la taille des plants), ainsi que de l'indice de surface foliaire a été faite avec SAS 9.2. Le classement à base du test de Student-Newman-Keuls (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 % a été également fait avec le logiciel SAS 9.2.

Après la détermination de la courbe de dilution, On a calculé l'indice de nutrition azoté (INN) de chaque prélèvement en divisant la concentration en azote de la biomasse (N_o) par la concentration critique (N_c). On a ensuite analysé la relation entre les INN calculés et les paramètres de croissance de la plante (taille de la plante, nombre de feuilles par plant).

$$INN = \frac{N_o}{N_c}$$

3.2-7. Conduite de l'essai

a- Pépinière

La pépinière a été faite dans des bacs de 2 m² (1 m X 2 m) avec une épaisseur de 8 cm environ de sol. Elle a été faite en ligne espacé de 15 cm (voir photo 6). Avant le semis, les graines ont été traitées à l'eau chaude pour favoriser la levée de dormance. Le traitement a consisté à attacher les graines dans un tissu et à tremper l'ensemble dans de l'eau chaude (75°C) pendant 10 seconds puis dans l'eau froide (25°C) pendant 10 minutes. Après ce traitement, les graines ont été séchées à l'air libre pour permettre leur bonne répartition sur la pépinière.



Photo 6 : Bacs de pépinière de crincrin

b- Préparation de sol

Matériel et méthodes

La préparation de sol a consisté au défrichage des terrains, au ramassage des débris végétaux, au labour, au piquetage et à la confection des planches. Compte tenu de la situation initiale du site du PCM, nous avons labouré la parcelle sans défrichage préalable.



Photo 7: Situation initiale du site de la FSA



Photo 8: Situation initiale du site du PCM

En effet, le site de la FSA était en jachère depuis juin 2009 où il a abrité un essai de fertilisation du piment par la matière organique (fèces de porc et débris végétaux). Il est ainsi couvert par une végétation de grande taille composée d'*Hyptis suaveolens*, de *Strankiia leptocarpa* et *Cyperus sp.* en dessous de la végétation (vois photo 7). Par contre le site du PCM était en jachère après les essais goanos réalisés en 2009, et est régulièrement entretenu par des sarclages. Ainsi, il était couvert par une végétation de taille basse constituée principalement de *Cyperus* (voir photo 8).

c- Repiquage

Le repiquage des plants a été fait 24 jours après semis à la pépinière à raison d'un plant par poquet. Les plants repiqués mesuraient 10 à 15 cm de hauteur et possédaient 3 à 5 feuilles déployées (voir Photo 9).



Photo 9 : Etat de la pépinière 24 jours après semis

d- Irrigation

Le mode d'irrigation adopté sur les deux sites expérimentaux était l'irrigation manuelle par aspersion avec des arrosoirs (voir Photo 10). L'irrigation a été faite quotidiennement avec apport de deux arrosoirs le matin et deux arrosoirs le soir par parcelle élémentaire (soit 7,20 L/m².jr) compte tenu de la texture sableuse du sol.



Photo 10 : Mode d'irrigation adopté

e- Désherbage

Les parcelles expérimentales étaient entretenues une fois par semaine (désherbage manuel + binage). Le binage est une opération indispensable car il permet une bonne infiltration de l'eau d'arrosage et évite la perte par ruissellement de la matière fertilisante apportée aux plantes. Il a été réalisé avec la binette alors que le désherbage a été réalisé avec la houe.

f- Protection phytosanitaire

Pour contrôler les insectes défoliateurs, le Cypercal (Cyperméthrine) a été pulvérisé chaque semaine dans les allées et sur une bande 2 m autour du périmètre expérimental à raison de 20 ml de produit pour 16 litres d'eau.

g- Fertilisation

L'azote a été apporté quatre fois : 8 Jours Après Transplantation (JAT), 18 JAT, 28JAT et 38JAT (voir tableau 2). Le Phosphore et le Potassium ont été apportés en fumure de fond de la même manière pour tous les traitements, y compris le traitement témoin. Ils ont été apportés à raison de 20 kg de P_2O_5 /ha et 40 kg de K_2O /ha. Ces doses sont celles recommandées par la Schippers (2004).

Pour le premier et le deuxième apport d'azote, les engrais ont été enfouis dans des raies en "V" réalisées à 5 cm environ autour du collet (voir Photo 11). Pour les autres apports d'azote, l'urée a été enfouie dans une raie réalisée dans l'interligne, car les racines de crincriin sont supposées explorer cette partie du sol.



Photo 11 : Présentation des raies de fertilisation

Chapitre 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1- ANALYSE DES PRATIQUES CULTURALES DANS LES BAS-FONDS RIZICOLES D'AGBEDRANFO-VOVOKANMEY (COMMUNE DE DOGBO) ET DE HOUINGA (COMMUNE DE HOUHEYOGBE)

4.1-1. Présentation des principaux systèmes de culture observés

Les principaux systèmes de culture observés, ont servi d'unité d'analyse et de comparaison des pratiques culturelles. Ces systèmes de culture observés varient fondamentalement d'un bas fond à l'autre. Ce qui a rendu difficile la comparaison des pratiques entre les différents bas fonds. L'opérationnalisation du concept de système de culture dans cette étude s'est principalement basée sur la nature des cultures et la succession culturale.

➤ A Agbédranfo, 4 systèmes de culture ont été étudiés (tableau 4)

Tableau 4 : Systèmes de culture étudiés à Agbédranfo

N°	Système de culture	Localisation	Indentification
1	Système de culture crincrin en rotation avec le riz	Zone aménagée	S-CR
2	Système de culture gombo en rotation avec le riz	Zone aménagée	S-GR
3	Système de culture crincrin sans précédent riz	Zone non aménagée	S-CSR
4	Système de culture gombo + piment sans précédent riz	Zone non aménagée	S-GPSR

Source : résultats d'enquête (2010)

Ces systèmes se définissent comme suit :

- le **S-CR « Système de culture crincrin en rotation avec le riz »** est un système dans lequel les producteurs font la riziculture en saison pluvieuse et la culture du crincrin en saison sèche. Il est essentiellement observé dans la zone aménagée du bas fond car c'est principalement dans cette zone que les producteurs font le riz ;
- le **S-GR « Système de culture gombo en rotation avec le riz »** est un système dans lequel les producteurs font la riziculture en saison pluvieuse et le gombo en saison sèche. Il est essentiellement observé dans la zone aménagée du bas fond pour les mêmes raisons que précédemment ;
- le **S-CSR « Système de culture crincrin sans précédent riz »** est un système dans lequel les producteurs cultivent le crincrin en saison sèche dans la zone non aménagée du bas fond. Ces

zones sont généralement abandonnées en saison pluvieuse car elles sont pour la plupart inondées et ne peuvent pas être exploitées même pour le riz par défaut d'aménagement ;

- **le S-GPSR « Système de culture gombo + piment sans précédent riz »** est un système dans lequel les producteurs cultivent le gombo en saison sèche dans la zone non aménagée du bas fond avec du piment en relais. Le piment est généralement repiqué à environ un mois et demi après le semis du gombo et les deux cultures restent en association jusqu'à la fin de la récolte du gombo. Ces zones sont généralement abandonnées en saison pluvieuse car elles sont pour la plupart inondées et ne peuvent pas être exploitées même pour le riz par défaut d'aménagement. Les dates de plantation du piment sont choisies de telle sorte que le maximum de récoltes soit fait avant l'arrivée des eaux d'inondation.

- A Vovokanmey, les producteurs nous ont informés de l'existence des systèmes riz – crincrin, riz - gboma et riz - tomate en plus du système riz – maïs frais. Mais seul le système riz – maïs frais a été observé au cours de la campagne 2009-2010 pour des raisons de non maîtrise de l'eau. **Le système riz – maïs frais (S-MR)** est un système dans lequel les producteurs font le riz en saison pluvieuse et le maïs frais en contre saison (en rotation).
- A Houinga, la pénurie précoce d'eau dans le bas-fond rizicole ne permet pas aux producteurs d'installer des cultures après celle du riz d'hivernage. La rotation riz-culture maraîchère est pratiquement inexistante. Le maraîchage est pratiqué généralement en même temps que le riz sur les franges du bas fond (parties hautes). Par conséquent, seuls les systèmes suivants ont été étudiés :
 - **le S-CSRh « Système de culture crincrin sans précédent riz »** ce système est noté S-CSRh parce qu'il est comparable au système S-CSR d'Agbedranfo.
 - **le S-GbSR «Système de culture gboma sans précédent riz »**
 - **le S-TSR « Système de culture tomate sans précédent riz »**

Tableau 5 : Effectif des producteurs enquêtés par système de culture

Sites	Systèmes de culture	Effectifs des : producteurs	Taille de l'échantillon
Agbedranfo	Crincrin sans précédent riz (S-CSR)	8	5
	Crincrin avec précédent riz (S-CR)	25	5
	Gombo-piment sans précédent riz (S-GPSR)	21	5
	Gombo avec précédent riz (S-GR)	10	5
Vovokanmey	Maïs frais avec précédent riz (S-MR)	21	5
Houinga	Gboma sans précédent riz (S-	16	5

	GbSR)		
	Tomate sans précédent riz (S-TSR)	11	5
	Crincrin sans précédent riz (S-CSRh)	9	5
Total		121	40

Source : Résultats d'enquête (2010)

Il faut noter que le système adopté sur une parcelle peut changer d'une campagne à une autre et qu'un même producteur peut pratiquer plusieurs systèmes au cours de la même campagne.

4.1-2. Capital de production

a. La terre

La terre est généralement héritée, empruntée gratuitement ou en usufruit. Dans les périmètres aménagés d'Agbédranfo et Vovokanmey, la terre est considérée comme un bien collectif. Les exploitants payent une somme forfaitaire de 1200 FCFA par Kantin pour l'entretien annuel du réseau d'irrigation. Mais l'accessibilité est un véritable problème face à des pesanteurs sociales car les exploitants des périmètres aménagés sont souvent de la même collectivité ou du même hameau. La superficie des parcelles cultivées varie en fonction des systèmes de culture (voir figure 14).

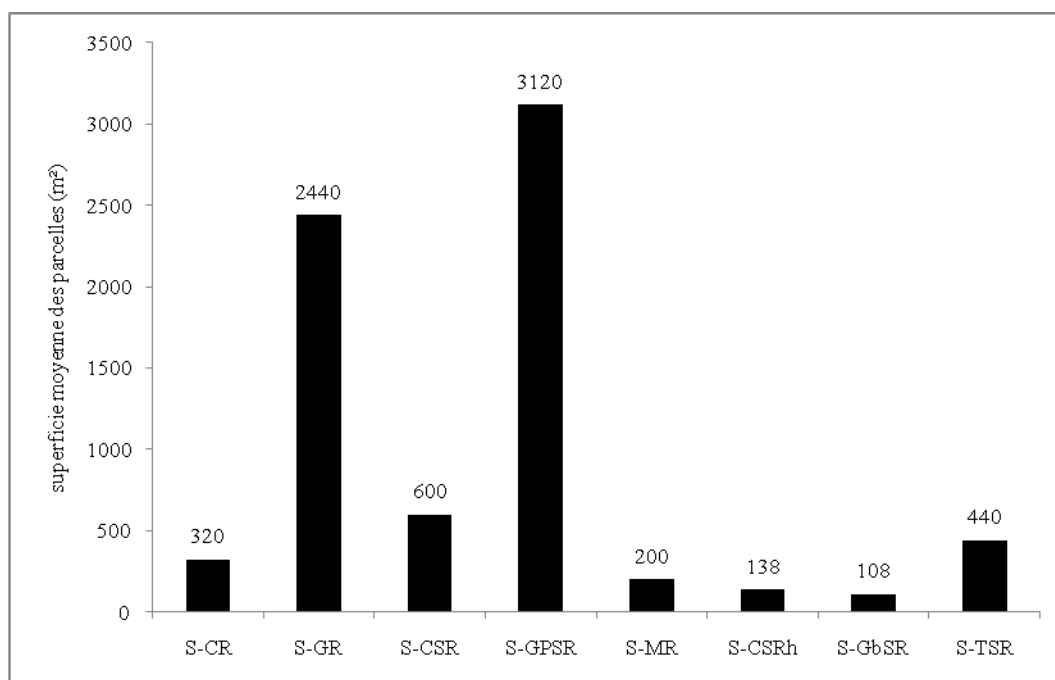


Figure 14 : Superficies moyennes des parcelles observées par système de culture (Source : Résultats d'enquête 2010)

De cette figure, on note que les superficies moyennes des parcelles de crincrin (S-CR et S-CSR) sont généralement plus faibles que celles du gombo (S-GR et S-GPSR) dans les systèmes de culture observés à Agbédranfo. De même, pour une même culture, on observe que les superficies des parcelles sont faibles dans les systèmes de culture avec précédent riz (périmètre aménagé) que dans les systèmes sans précédent riz (hors du périmètre aménagé). Ceci s'explique par le fait que la disponibilité de terre dans le périmètre aménagé est insuffisante pour satisfaire la demande des producteurs C'est aussi le cas pour les deux autres bas fonds où les superficies moyennes des parcelles sont très faibles.

b. La main-d'œuvre

Dans les bas-fonds d'Agbédranfo, Vovokanmey et Houinga, on observe la main-d'œuvre familiale (MOF), la main-d'œuvre salariale ou extérieure (MOE) et l'entraide. Dans notre étude, l'entraide a été comptée dans la main-d'œuvre familiale parce qu'elle est généralement réalisée entre les membres d'une même famille ou collectivité. Ainsi, la main-d'œuvre utilisée est essentiellement familiale dans les trois bas fonds. Elle est constituée principalement du chef d'exploitation lui-même, et de ses enfants. Les enfants viennent travailler souvent dans les champs après les classes, mais n'y passent pas beaucoup de temps. Quelques producteurs recrutent des ouvriers contre rémunération pour des travaux difficiles comme le défrichement, le labour et le sarclage.

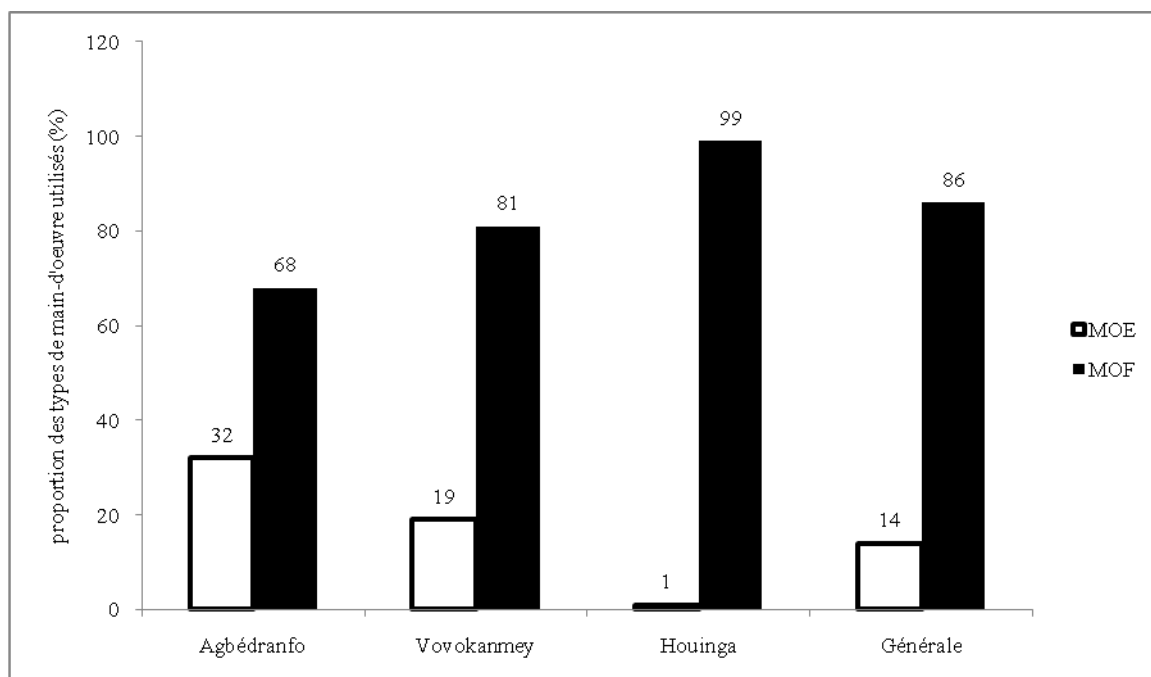


Figure 15 : Types de main-d'œuvre exploitée par bas-fond

Cette figure indique que le recours à de la main-d'œuvre extérieure est faible ; environ 14% de la main-d'œuvre totale en moyenne en combinant les trois bas-fonds. Elle est plus importante à Agbédranfo avec un pourcentage de 32% contre 19% à Vovokanmey et 1% à Houinga (toutes opérations confondues).

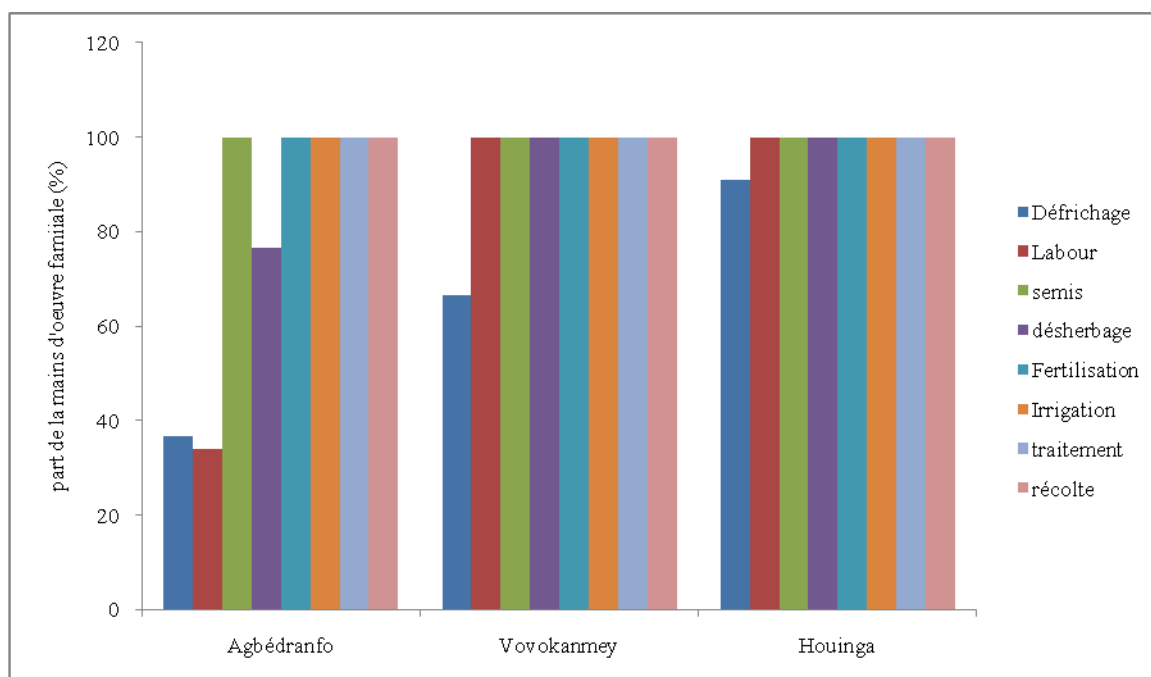


Figure 16 : Main d'œuvre familiale utilisée par opération culturale et par bas-fond (Source : Résultats d'enquête 2010)

Cette figure indique que la main-d'œuvre salariale ou extérieure est utilisée pour les opérations de désherbage, de labour et du défrichage à Agbédranfo. Par contre, à Vovokanmey et Houinga, elle est seulement utilisée pour le défrichage. Ceci explique le fait que cette opération est la plus difficile surtout pour les femmes selon les propos de producteurs.

c. Choix des variétés et gestion des semences

Les semences sont obtenues à partir des récoltes de campagnes antérieures au niveau de chaque exploitation. On peut les acheter ou les acquérir par don dans le village si on n'a pas pu les reconstituer dans ses propres récoltes. Les variétés améliorées pour certaines cultures notamment le maïs peuvent être fournies par les agents d'encadrement mais elles n'existent pas en quantité suffisante. On a noté diverse variétés des cultures pratiquées dans les zones de bas-fonds étudiées (voir tableau 6). Cependant, les mêmes variétés ont été observées chez tous les producteurs enquêtés pour chaque culture donnée. Les variétés locales ont été observées sur 87,5% des parcelles suivies. Concernant le choix des spéculations, il peut être influencé par plusieurs facteurs. On peut distinguer des critères d'ordre socio-économiques (rentabilité, existence d'un marché d'écoulement, exigence de main-d'œuvre et d'intrants, disponibilité de

main-d'œuvre familiale) et des critères agronomiques (adaptabilité aux conditions locales, durée du cycle etc.).

Tableau 6 : Principales variétés observées dans les trois bas fonds

Paramètres Cultures	Variétés	Caractéristiques	Durée du cycle
Maïs (<i>Zea mays</i>)	variété locale	Grains jaunes, bons pour la pâte, bien conservables.	3 mois et demi
	DMR	Gros grains blancs, moins bons pour la pâte, non résistants aux charançons.	3 mois
Piment (<i>Capsicum sp</i>)	<i>gbotakin</i> (malanville)	Fruits globuleux	Pépinière (1 mois et demi) première récolte (45 JAT)
	<i>adologbo</i>	Fruits longs et rouges	Pépinière (1 mois et demi) première récolte (60 JAT)
Gombo (<i>Abelmoschus esculentus</i>)	précoce	Fruits moins Longs	2 mois
	variété tardive	Fruits longs et effilés	3 mois
<i>Gboma</i> (<i>Solanum macrocarpum</i>)	variété locale	Feuilles longues et effilées	Pépinière (21 jours) Récolte (45 JAT)
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	nvi (locale)	Fruits effilés, plus résistants	Pépinière (2-3 semaines) Première récolte (60-70 JAT)
	Sonafer	Gros fruits, moins résistants	Pépinière (2 semaines) Première récolte (60 JAT)
Crincrin (<i>Corchorus olitorius</i>)	variété locale	Feuilles ovales à bord lisse	Première récolte (21JAS)
Manioc (<i>Manihot sp</i>)	gbézé	Pétiole vert, contient assez d'eau	6 mois à 7 mois
	Agriki	Pétiole rouge violacée, racines cylindriques	6 mois à 7 mois

Source : résultats d'enquête 2010

Les opérations culturales

a- Préparation du sol

En dépit de l'intérêt capital qu'accordent les partenaires aux zones de bas-fonds du Mono et Couffo, la préparation du sol demeure jusqu'à ce jour une activité manuelle et très dure pour les producteurs des zones de bas-fonds d'Agbédranfo, Vovokanmey et Houinga. Concernant les cultures de contre saison dans ces bas-fonds, la préparation du sol est généralement démarrée en novembre ou décembre après la récolte du riz suivie du ressuyage en eau du sol. Ce ressuyage permet aux producteurs de faire un labour sans difficulté. La préparation du sol se débute par un défrichage du terrain avec coupe-coupe suivi de la mise en tas et brûlis des débris végétaux. Ce brûlis intervient généralement entre le septième jour et le dixième jour après le défrichage. Lorsque le défrichage est fait avec de la main d'œuvre salariale, le coût varie de 600 à 1200 FCFA par kanton selon la densité des herbes. Le labour intervient après cela et est réalisé à l'aide d'une houe dont les dimensions varient en fonction de la profondeur du labour : pour les labours profonds, les larmes sont généralement moins larges mais plus longues et plus épaisses. Seuls les labours profonds sont suivis du planage.

Tableau 7 : Modes de préparation du sol observés au niveau des différents systèmes de culture

Zones de bas fond	Systèmes de culture	Modes de préparation du sol	% main-d'œuvre familiale	Coût moyen pour le labour du kanton (400 m ²)
Agbédranfo	Crincrin sans précédent riz (S-CSR)	100% labour profond (8 à 10 cm de profondeur).	34,2%	2500 F/Kt pour labour profond
	Crincrin avec précédent riz (S-CR)	100% labour profond (8 à 10 cm de profondeur).	0%	2500 F/Kt pour labour profond
	Gombo-piment sans précédent riz (S-GPSR)	80%labour superficiel 20% sans labour	76,9%	1000 F/Kt pour labour superficiel
	Gombo avec précédent riz (S-GR)	60%labour superficiel 40% sans labour	12,5%	1000 F/Kt pour labour superficiel
Houinga	Gboma sans précédent riz (S-GbSR)	100% labour profond (8 à 10 cm de profondeur) dont 40% confession de planches (1,2X8m ²)	100%	2000 F/Kt pour labour profond 800 F/Kt pour labour superficiel
	Tomate sans précédent riz (S-TSR)	20%labour profond 80%labour superficiel	78,9%	2000 F/Kt pour labour profond 800 F/Kt pour labour superficiel
	Crincrin sans précédent riz (S3)	100% labour profond (8 à 10 cm de profondeur).	100%	2000 F/Kt pour labour profond
Vovokanmey	Maïs frais avec précédent riz (S-MR)	40%labour superficiel 60% sans labour	64,28%	1000 F/Kt pour labour superficiel

Source : résultats d'enquête (2010)

b- La pépinière

Elle consiste à nettoyer le terrain et confectionner une planche de dimension variable pour faire pousser des graines de taille généralement très petite. A Houinga, on observe une incorporation de matière organique au sol et une utilisation de cendre pour traiter la pépinière. Cette pratique est observée chez 40% de producteurs. Le traitement à la cendre est généralement fait juste après le semis alors que les apports de matière organique sont faits avant le semis. Sur le site d'Agbédranfo cet apport de matière organique est inexistant. Par contre, pour assurer une bonne levée et un bon développement des plantules, certains producteurs traitent la pépinière contre les nématodes avec du Furadan (carbofuran) à la doses de 5 g pour 4 m². Cette pratique est observée chez 20% des producteurs du système S-GPSR.

A Houinga, 20% des producteurs font des pépinières en lignes espacées de 15 cm environ (voir figure 17). Les lignes sont perpendiculaires à la longueur de la planche. Ce qui permet aux producteurs d'utiliser la même planche pour le semis de plusieurs cultures à la fois (grande morelle, piment, tomate etc.). Les graines sont semées à environ 1cm de profondeur et recouvertes par une fine couche de sable mélangé parfois à la cendre. L'arrosage se fait après l'installation de la paille et est réalisé avec la main ou un arrosoir à pomme soulevé à moins d'un mètre du sol pour apporter l'eau sous forme de fines gouttelettes de pluie. A Agbédranfo, 100% des producteurs font leur semis à la volée avec environ 10 cl (2 verres de Sodabi) de semence par m². Il est aussi suivi de recouvrement de fine couche de sable et de l'installation de paille. Après la levée des plants, les pailles sont remplacées par des ombrelles. L'arrosage se fait avec la main sans arrosoir. L'entretien se résume à l'arrosage (2 fois par jour durant les dix premiers jours et 4 à 7 fois par semaine pour le reste du temps). Le désherbage se fait environ chaque semaine.

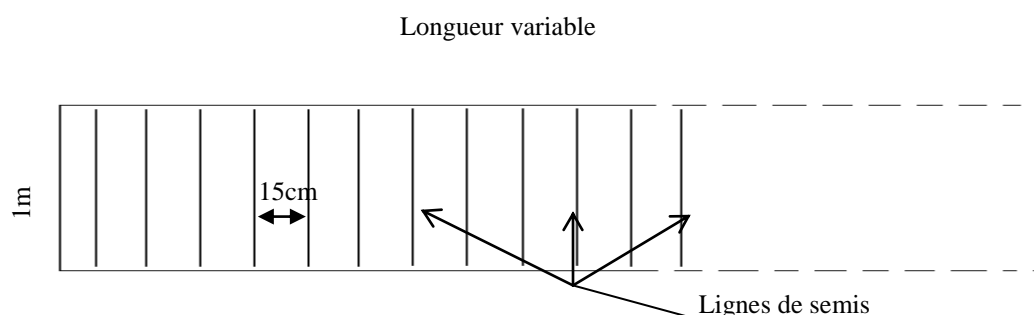


Figure 17: Schéma d'une planche de pépinière en ligne à Houinga (Source : Résultats d'enquête 2010)

c- Le semis

A Agbédranfo, les semis des cultures de diversification commencent généralement en décembre dans tous les systèmes étudiés. Ces semis se poursuivent jusqu'en février mais la majorité (70% des producteurs) sème en janvier (voir figure 18). Le piment est repiqué plus tard en association avec le gombo dans les systèmes de cultures sans précédent riz. Dans les systèmes de production du riz, les producteurs n'arrivent pas à faire cette pratique de relais car la phase de production du piment coïncide avec celle du riz dans le bas fond.

A Houinga, les dates de semis observées sont plus variées et couvrent la période d'Août à Décembre (voir figure 18). Les semis sont souvent précoces et sont faits sur les franges du bas-fond en même temps que le riz compte tenu des pénuries d'eau qui sont observées plutôt dans ce bas fond.

A Vovokanmey tous les semis (100%) ont été réalisés en janvier pour la seule spéculation observée (maïs vert).

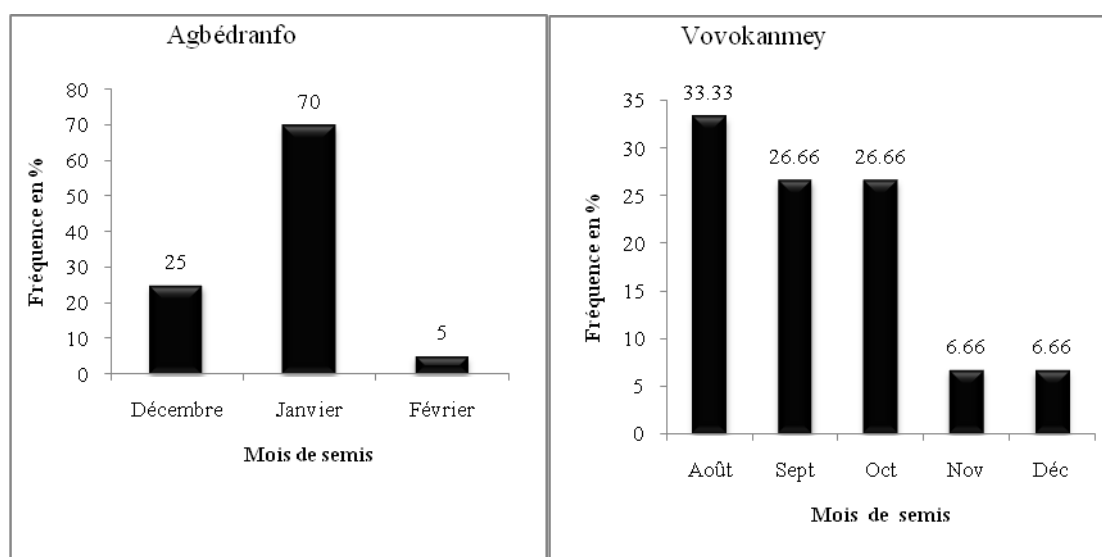


Figure 18: Variabilité des dates de semis des cultures de diversification (Source : Résultats d'enquête 2010)

Généralement, le gombo, le maïs et le crinrin sont semés directement alors que les cultures du *Gboma*, de la Tomate et du piment passent nécessairement par une phase de pépinière de durée variable. Le crinrin est semé à la volée dans tous les systèmes avec des quantités de semence variables (voir tableau 8). Les semences de crinrin sont généralement traitées à l'eau chaude 12 heures avant le semis pour favoriser la levée de dormance et avoir des plants homogènes à la levée. Ce traitement consiste à verser de l'eau chaude (environ 60°C) sur la semence dans un bol le soir qu'on laisse ensuite refroidir. Cette semence est récupérée dans un tissu et séchée à l'air libre jusqu'au lendemain matin avant le semis. Les semis du gombo et du maïs se font pratiquement de la même manière (en ligne sans cordeau suivant des écartements

variant de 30 à 50 cm entre plants et 60 à 80 entre lignes). L'opération de démariage est inexistante dans la conduite des cultures au niveau des trois bas fonds (100% ne pratiquent pas le démariage). Elle n'est pas souvent conduite comme une opération culturale spécifique mais est réalisée parfois de manière aléatoire au cours du premier sarclage. Dans les systèmes d'association du gombo avec le piment, la densité ne change pas ; le piment est généralement repiqué dans les interlignes après le deuxième sarclage du gombo. La trouaison pour le semis du gombo et du maïs ainsi que pour la transplantation du piment se fait à l'aide d'un bâton de 1,5 m environ de long taillé à une extrémité de sorte à réaliser dans le sol des trous de 3cm de profondeur et 3 cm de diamètre.

Tableau 8 : Modes de semis observés au niveau des différents systèmes

Zones de bas fond	Systèmes de culture	Mode de semis	Moyenne des éléments de densité	Durée moyenne de pépinière
Agbédranfo	Crincrin sans précédent riz (S-CSR)	100% semis direct à la volée	24 Kg de semence par hectare	-
	Crincrin avec précédent riz (S-CR)	100% semis direct à la volée	28 Kg de semence par hectare	-
	Gombo-piment sans précédent riz (S-GPSR)	100% semis direct en ligne pour le gombo	- écartement 76 x36 cm ; - 2 à 3 graines par poquet	52 jours
	Gombo avec précédent riz (S-GR)	100% semis direct en ligne	- écartement 74 x34 cm ; - 2 à 3 graines par poquet	-
Houinga	Gboma sans précédent riz (S-GbSR)	100% semis indirect (passage à la pépinière)	- écartement 21,25 x21,25 cm ; -1 plant par poquet	41 jours
	Tomate sans précédent riz (S-TSR)	100% semis indirect (passage à la pépinière)	- écartement 76 x42 cm ; - 1 plant par poquet	25 jours
	Crincrin sans précédent riz (S-CSRh)	100% semis direct à la volée	32 Kg de semence par hectare	-
Vovokanmey	Maïs frais avec précédent riz (S-MR)	100% semis direct en ligne	- écartement 80 x42 cm ; - 3 graines par poquet	-

Source : résultats d'enquête (2010)

d- Désherbage

Le mode de désherbage le plus rencontré dans les trois bas fonds est le sarclo-binage. Il est réalisé à l'aide d'une houe ordinaire et intervient deux à trois fois durant le cycle selon l'état d'enherbement de la parcelle. Il consiste en un simple grattage du sol suivi de l'élimination des adventices. Il est réalisé pour la culture du gombo, du piment du maïs, du *Gboma* et de la tomate. Mais pour le crinclin, le désherbage est très contraignant et se fait manuellement. Il est réalisé une fois par quinzaine (environ 7 jours après chaque récolte). Généralement les producteurs utilisent de petits tabourets pour s'asseoir dans les parcelles et arracher un à un les adventices. Les plants sont ainsi piétinés mais ils se redressent par la suite. Pour éviter la verse des plants au cours du désherbage, les producteurs pourraient faire un semis en bandes ou en lignes espacées d'un écartement minimum pour permettre le passage des pieds lors du désherbage.

Tableau 9: Modes de désherbage observés au niveau des différents systèmes

Zones de bas fond	Systèmes de culture	Mode de désherbage	Durée moyenne semis- 1 ^{er} désherbage	Fréquence moyenne de désherbage
Agbédranfo	Crinclin sans précédent riz (S-CSR)	100% arrachage manuel	15 Jours	16 jours
	Crinclin avec précédent riz (S-CR)	100% arrachage manuel	14 Jours	15 Jour
	Gombo-piment sans précédent riz (S-GPSR)	100% sarclo-binage	16 Jours	25 Jours
	Gombo avec précédent riz (S-GR)	100% sarclo-binage	16 Jours	24 Jours
Houinga	Gboma sans précédent riz (S-GbSR)	100% sarclo-binage	7 Jours	7 Jours
	Tomate sans précédent riz (S-TSR)	100% sarclo-binage	20 Jours	24 Jours
	Crinclin sans précédent riz (S-CSRh)	100% arrachage manuel	10 Jours	7 Jours
Vovokanmey	Maïs frais avec précédent riz (S-MR)	100% sarclo-binage	16 Jours	19 Jours

Source : résultats d'enquête (2010)

e- Irrigation

Plusieurs modes d'irrigation sont pratiqués dans les trois bas-fonds ciblés (voir tableau 10) :

✓ A Agbédranfo on observe deux principaux modes à savoir:

- **irrigation gravitaire à partir du puits artésien** qui consiste à canaliser l'eau à l'aide des tuyaux PVC ou des canaux à ciel ouvert sur les sommets de pente. Cette eau évolue

progressivement pour atteindre les parties basses des parcelles (voir photo 12). Ce mode d'irrigation est pratiqué sur 100% des parcelles du périmètre aménagé;

- et **l'irrigation gravitaire à partir de l'eau de mare** qui consiste à pomper avec des motopompes l'eau de la mare et à la canaliser avec des tuyaux PVC jusqu'aux niveaux des parcelles cultivées où cette eau se distribue suivant la pente. Ce mode d'irrigation est observé sur 100% des parcelles du périmètre non aménagé.

On observe dans les deux cas des contraintes environnementales car cette pratique érode le sol et lessive surtout les engrais minéraux qui sont généralement apportés sans enfouissement.

Face à ces contraintes, il est souhaitable d'étudier la possibilité d'adoption d'autres modes d'irrigation tels que l'irrigation par aspersion ou l'irrigation goutte à goutte.

- ✓ A Vovokanmey on observe généralement une irrigation gravitaire à partir du puits artésien sans canalisation PVC.

Il consiste à drainer l'eau du puits artésien sur les parcelles à partir des canaux à ciel ouvert (en maçonnerie et en terre simple). Ce mode d'irrigation est pratiqué par 100% des producteurs suivis pour la culture du maïs frais de contre saison. On a cependant noté chez quelques rares producteurs qui ont fait les cultures maraîchères, une irrigation manuelle à l'aide d'arrosoirs métalliques.

- ✓ A Houinga, on a observé deux types d'irrigation manuelle :

- Irrigation manuelle avec arrosoir (pratiquée par 26,7% des producteurs);
- et l'irrigation manuelle sans arrosoir (pratiquée par 73,3% des producteurs). Elle consiste à arroser les plants avec de l'eau prise dans une bassine ou dans un seau à l'aide de la main ou d'un bol. Compte tenu des difficultés liées à cette pratique, les quantités d'eau apportée sont souvent insuffisantes et l'arrosage se fait chaque jour lorsqu'il y a de l'eau dans le bas fond. En cas de pénurie d'eau, l'arrosage devient très rare car l'eau doit être transportée de la maison sur une grande distance, mais aussi parce que cette eau se fait aussi rare à la maison. Ceci n'est pas sans conséquences sur le développement des cultures qui finalement sont abandonnées.



Photo 12 : Mode d'irrigation gravitaire observé à Agbédranfo

Tableau 10 : Modes d'irrigation observés au niveau des différents systèmes

Zones de bas fond	Systèmes de culture	Mode d'irrigation	Fréquence d'irrigation (nombre de jours)		
			moyenne	maxi	mini
Agbédranfo	Crincrin sans précédent riz (S-CSR)	100% Gravitaire avec tuyaux PVC et motopompe	9	12	7
	Crincrin avec précédent riz (S-CR)	100% Gravitaire avec tuyaux PVC	7	8	5
	Gombo-piment sans précédent riz (S-GPSR)	100% Gravitaire avec tuyaux PVC et motopompe	9	11	7
	Gombo avec précédent riz (S-GR)	100% Gravitaire avec tuyaux PVC	10	13	8
Houinga	Gboma sans précédent riz (S-GbSR)	Aspersion -60% sans arrosoir -40% avec arrosoir	1	1	1
	Tomate sans précédent riz (S-TSR)	100% locale (au collet des plants sans arrosoir)	1	1	1
	Crincrin sans précédent riz (S-CSRh)	Aspersion -60% sans arrosoir -40% avec arrosoir	1	1	1
Vovokanmey	Maïs frais avec précédent riz (S-MR)	100% Gravitaire à partir de canaux en maçonnerie et en terre simple	13	17	8

Source : résultats d'enquête (2010)

f- Fertilisation

Les modes de gestion de la fertilité des sols varient d'un bas-fond à l'autre :

- ✓ A Agbédranfo et Vovokanmey, on note une absence totale de la fumure organique malgré le passage des transhumants éleveurs dans ces villages en cette période de production maraîchère. Les troupeaux en transhumance s'installent généralement sur les terres de plateau abandonnées avec des restes de récoltes dont ils se nourrissent et y laissent leurs déjections en retour. Cette transhumance profite donc seulement aux productions agricoles sur le plateau en matière de fertilisation des sols. Seuls les engrais minéraux (NPK et Urée) sont utilisés dans les zones de bas fonds suivant des doses et fréquences variables. L'application des engrais minéraux se fait sans enfouissement (chez 100% des producteurs enquêtés) à environ 3 cm du collet des plants pour les cultures du gombo, du piment et du maïs. Concernant le crincrin, l'épandage se fait à la volée. Tous les apports sont précédés de copieuses irrigations pour éviter la brûlure. Des variations sont observées au niveau des doses appliquées, au niveau du degré d'association des deux types d'engrais minéraux (NPK et Urée) et au niveau des fréquences d'application (voir tableau 11).

Tableau 11 : Diversité des modes de fertilisation observés à Agbédranfo et Vovokanmey

cultures	Quantités d'engrais appliquées par ha et périodes d'application				Pourcentage des personnes ayant pratiqué
gombo	67,12 kg NPK 15 JAS	32,9 kg urée 35 JAS	32,9 kg urée 50 JAS	32,9 kg urée après la première récolte 70 à 80 JAS	20%
	67,12 kg NPK+32,9 kg urée 15 JAS	-	67,12 kg NPK+32,9 kg urée 45 JAS	-	70%
	-	67,12 kg NPK+32,9 kg urée 25 JAS	-	-	10%
crincrin	98,7 kg urée 7 JAS	98,7 kg urée 2 jours après chaque récolte			70%
	65,8 kg urée 7 JAS	65,8 kg urée 2 jours après chaque récolte			30%
maïs	44,75 kg NPK+22,37 kg urée 15 JAS	44,75 kg NPK+22,37 kg urée 45 JAS	-	-	60%
	44,75 kg NPK+44,75 kg urée 15 JAS	-	-	-	20%
	Néant				20%

Source : Résultats d'enquête (2010)

Pour chaque culture donnée on observe différentes catégories de pratique à savoir : une catégorie qui emploie des doses totales plus importantes (couleur rouge), une catégorie qui emploie des doses modérées (couleur jaune) et une catégorie qui emploie des doses faibles ou nulles (couleur verte). Ainsi on note que la majorité des producteurs emploie des doses plus importantes pour le crincrin et le Maïs vert.

La totalité (100%) des producteurs enquêtés pour la culture du gombo et du crincrin fertilise les cultures avec des engrais minéraux. Concernant la culture du maïs, certains producteurs (80%) utilisent des engrais minéraux et le reste (20% des producteurs) cultivent sans engrais minéraux. Le calcul des doses moyennes appliquées aux cultures montre une forte utilisation d'urée pour le crincrin ($409 \text{ kg} \pm 76 \text{ kg/ha}$) comparativement aux autres cultures ($66 \pm 15 \text{ kg /ha}$ pour le Gombo). Cette culture est fertilisée uniquement avec de l'urée alors que les autres cultures reçoivent une fertilisation mixte (NKP + urée).

Par ailleurs, les doses d'engrais appliquées par les producteurs sont des doses arbitraires ce qui pourrait engendrer des écarts financiers importants à travers l'apport des doses complémentaires inutiles pour la plante et dangereuses pour l'environnement.

- ✓ à Houinga, la fumure minérale est totalement inexistante. On observe cependant l'amendement organique lors de la confection des planches. Cette pratique concerne 20% des producteurs enquêtés. Ils apportent en moyenne 10 kg d'ordure ménagère pour une planche de 10 m^2 , soit 10 tonnes de matière organique par hectare. Les autres producteurs (80%) ne pratiquent ni la fertilisation organique ni minérale.

g- Protection phytosanitaire

Il existe une grande variabilité en matière de lutte contre les ravageurs dans les trois bas fonds ciblés:

- ✓ A Agbédranfo, la lutte contre les ravageurs et maladies des cultures maraîchères se fait essentiellement par traitements chimiques en curatif. Cependant, on a observé des modes de traitements préventifs à fréquence de 10 jours à partir de la floraison chez 20% des producteurs des systèmes S-GPSR et S-GR. L'origine des produits phytosanitaires utilisés est souvent inconnue : Ils sont achetés au marché ou dans le village souvent sans conditionnement et sans étiquette. Contre le flétrissement spontané observé sur le crincrin, les producteurs utilisent une méthode traditionnelle avec le saupoudrage de cendres ménagères. Dans le système S-GPSR, 40% des producteurs associent les insecticides avec des fongicide après la transplantation du piment pour prévenir les

pourritures du piment. Les principaux ennemis rencontrés sur les trois sites sont les pucerons, les acariens et les chenilles. L'utilisation des doses arbitraire de pesticides est due au fait que les produits utilisés sont en majorité sans étiquette (voir figure 19).

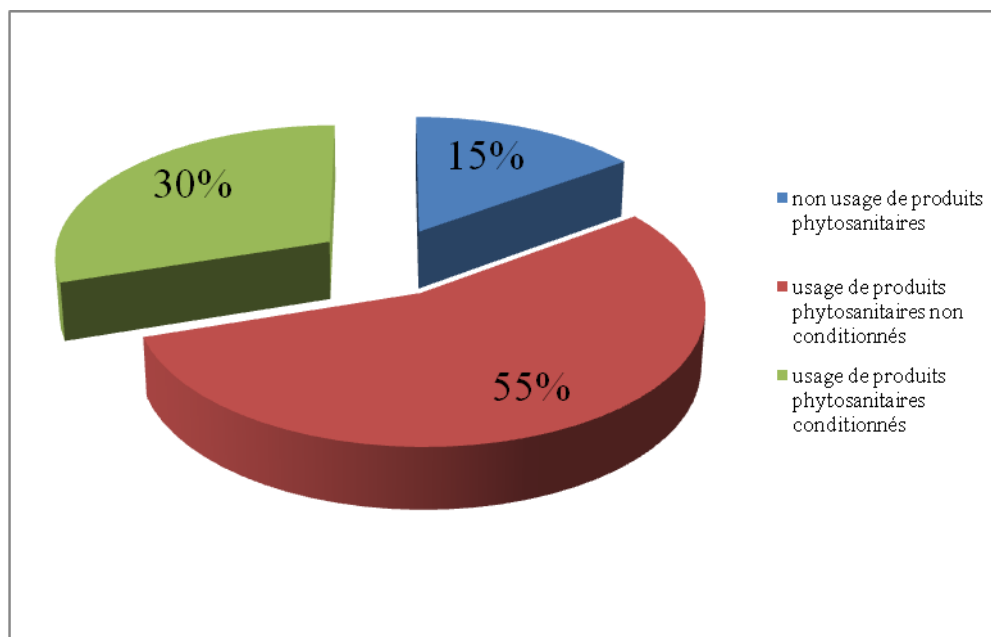


Figure 19 : Usage des produits phytosanitaires à Agbédranfo (Source : Résultats d'enquête 2010)

Ce graphe indique que 85% des producteurs d'Agbédranfo utilisent des produits phytosanitaires, et seul 30% des producteurs emploient des produits conditionnés et étiquetés. C'est seulement sur ces produits étiquetés qu'on peut lire des prescriptions de dose, qui, malheureusement ne sont pas prises en compte. Des produits sans conditionnement couramment appelés « ADJAKATINKIN » sont employés par 55% des producteurs à cause de leur prix relativement plus accessible aux producteurs et de leur disponibilité dans le village. Au nombre des produits indentifiables, nous pouvons citer : le LAMBDA 2,5 EC (Lambdacyhathrine), le CYPERCAL P 330 EC (Cypermethrine), PACHA 2,5 EC et Griffin (Malathion) qui ne sont pas aussi des produits homologués (excepté LAMBDA 2,5 EC).

- ✓ A Vovokanmey, aucun traitement phytosanitaire sur la seule culture retenue (maïs vert) n'a été relevé. On a observé des larves qui rongent le corne des jeunes plants surtout au début de la floraison). Selon les producteurs ces larves apparaissent lorsque les plants ne sont pas bien irrigués.
- ✓ De même, il n'existe aucune pratique d'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse à Houinga malgré l'ampleur des ravageurs dans ce bas fond. Cependant, certains producteurs utilisent quelques méthodes traditionnelles tel que le saupoudrage de cendres ménagères bien qu'elle soit peu efficace selon eux.

h- Récolte

La conduite de la récolte varie en fonction des cultures pratiquées au niveau des trois sites:

- Pour le gombo, les récoltes sont faites en général tous les quatre à cinq jours. La première récolte intervient environ 60 jours après semis. Les fruits de gombo sont cueillis juste à maturité caractérisée par la chute des dernières pièces florales. Passé cette période les fruits deviennent fibreux et ne peuvent plus être commercialisés. Une attention très particulière est faite pour cueillir tous les fruits mûrs et enlever les vieilles gousses sinon la plante arrête de produire. La récolte est manuelle et se fait avec un couteau et un panier à la main. Les fruits ne peuvent pas être conservés longtemps. Ils sont vendus directement au champ ou transportés dans les marchés de proximité.
- Le crincrin est récolté toutes les quinzaines en moyenne et est aussi commercialisé juste après sa récolte directement au champ ou dans les marchés environnants. La première récolte intervient environ 21 jours après semis. Les produits maraîchers d'Agbédranfo sont acheminés dans plusieurs marchés nationaux (Dogbo, Lokossa, Zoungbonou, Come, Agame, Tokpa etc.) par l'intermédiaire des revendeurs qui viennent les acheter directement au champ ou dans le marché de Dogbo.
- Le maïs frais produit à Vovokanmey est récolté avec du coupe-coupe et est commercialisé immédiatement dans le marché de DOGBO car il ne peut pas être conservé au-delà de 24 heures. Passé ce délai, il perd sa qualité organoleptique. La récolte a lieu environ 65 jours après le semis.
- La première récolte de la tomate se fait en moyenne 65 jours après la transplantation, soit 89 jours après le semis en pépinière. Plusieurs récoltes se succèdent à un intervalle moyen de 6 jours. Le nombre total de récoltes varie en fonction des variétés et de l'entretien des plants. A Houinga le nombre moyen de récoltes est de 3 avec un maximum de 7 récoltes.
- De même, la première récolte du gboma se fait en moyenne 45 jours après transplantation et plusieurs récoltes se succèdent à un intervalle moyen de 29 jours. Le nombre moyen de récolte est de 1 avec un maximum de 3 récoltes.
- La première récolte du piment intervient généralement 45 à 60 jours après transplantation et peut s'étendre sur 2 à 4 mois en fonction de la variété et de l'entretien. Les fruits se récoltent avec leur pédoncule pour prolonger la durée de conservation. Le rendement dépend de la variété et des périodes de culture. Le rendement frais de la variété gbotakin

pouvait atteindre 20t par hectare, soit 20 sacs de 40 kg par kanton (400 m²) selon les producteurs mais cette campagne a été très mauvaise au point où certains (20% de producteurs suivis) n'ont même pas pu faire une récolte. Les autres producteurs (80%) ont obtenu de très faible rendement d'une valeur moyenne de 2,33 tonnes par hectare avec un maximum de 4,5 tonnes par hectare et un minimum de 0,325 tonnes par hectare. En effet, il a été observé dans le bas fond d'Agbédranfo un flétrissement spontané des plants de piment au début de la floraison et la majorité des plantes ont pourri debout. L'origine de cette pourriture est restée inconnue comme ce fut le cas précédemment pour la tomate et la grande morelle (gboma) qui sont aujourd'hui impraticables dans le bas fond selon les producteurs.

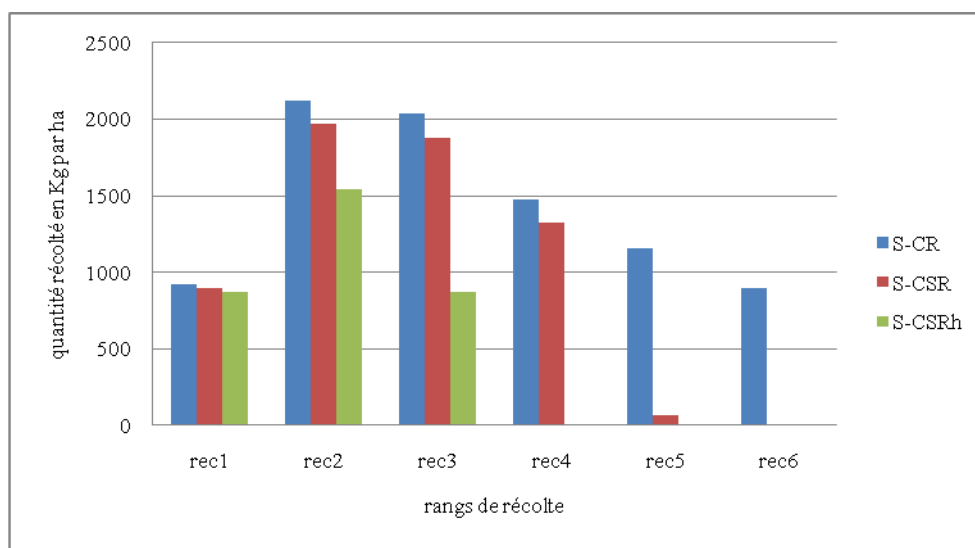


Figure 20 : Evolution des quantités moyennes de crinrin récolté dans les différents systèmes étudiés (Source : Résultats d'enquête 2010)

Selon la figure 20, les quantités moyennes de crinrin récolté sont croissantes de la première récolte à la deuxième et sont décroissantes à partir de la deuxième. De plus, le nombre total de récolte varie d'un système à un autre: il est plus important au niveau du système de rotation à base du riz (6 récoltes) et est plus faible dans les systèmes de culture sans rotation avec le riz (3 récoltes). Cette observation serait liée au niveau d'entretien de la culture. En effet dans les systèmes de rotation avec le riz (périmètre aménagé), l'irrigation serait très aisée compte tenu de la disponibilité de dispositif d'irrigation amélioré et ceci influencerait la motivation des producteurs dans l'entretien des parcelles.

Les rendements moyens du crinrin obtenus au cours de notre enquête se présentent dans Tableau 12 ci-dessous.

Tableau 12 : Rendement du crincrin dans les différents systèmes étudiés

Systèmes de culture	Rendements moyens (t/ha)
S-CR	8,56 ± 3,34
S-CSR	5,43 ± 1,10
S-CSRh	2,46 ± 1,34

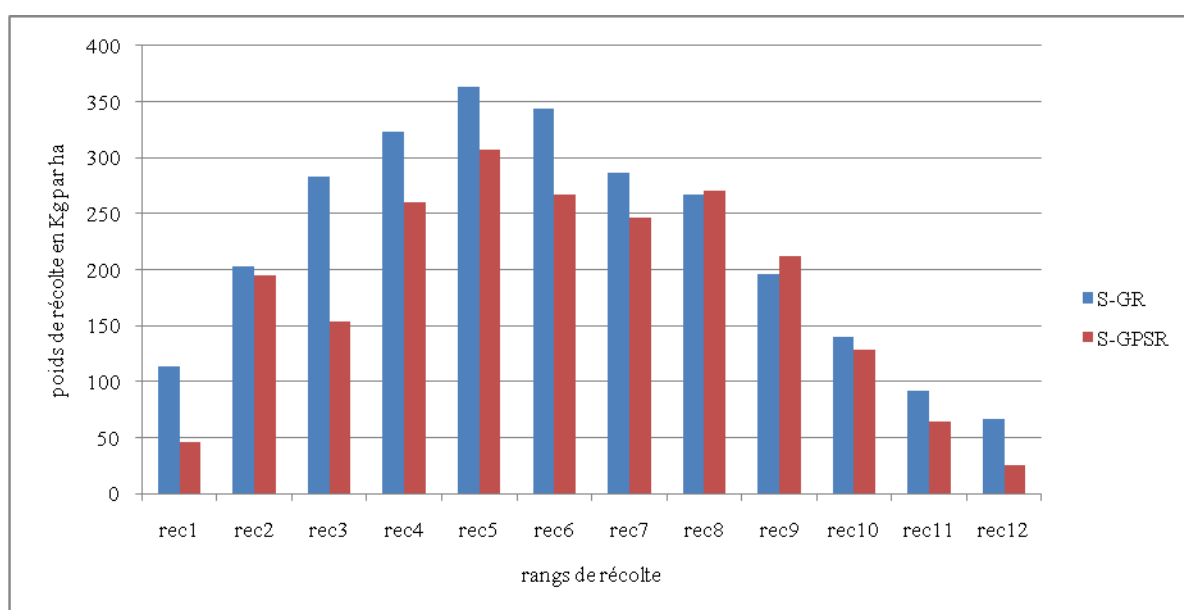


Figure 21 : Evolution des quantités de gombo récolté dans les différents systèmes étudiés (Source : Résultats d'enquête 2010)

On note de ce graphe que le nombre total de récolte est le même pour les deux systèmes de production du gombo étudiés. Cependant, les quantités récoltées sont plus importantes dans le système de rotation avec le riz.

Les rendements moyens du gombo obtenus au cours de notre enquête se présentent dans Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Rendement du gombo dans les différents systèmes étudiés

Systèmes de culture	Rendements moyens (t/ha)
S-GR	2,56 ± 0,69
S-GPSR	1,92 ± 0,28

4.1-3. Calendriers cultureux

L'organisation des activités en milieu rural est généralement fonction de la disponibilité et de la distribution de l'eau au cours de l'année. Ceci n'a pas fait exception dans les villages d'Agbédranfo, Vovokanmey (commune de Dogbo) et Houinga (commune de Houéyogbé). La distribution des précipitations a permis de définir dans ces villages quatre saisons dont deux pluvieuses et deux sèches. Les quatre saisons se répartissent comme suit :

- ❖ Une grande saison pluvieuse (*Eli* en langue Adja et *Ehoué* en Sahouè) de mi-mars à juillet ;
- ❖ Une petite saison sèche (en langue locale Gbonfoun) de juillet à Août ;
- ❖ Une petite saison pluvieuse (en langue locale *Ezo*) de septembre à novembre ;
- ❖ Une grande saison sèche (*tokpoê* en langue Adja et *Alùn* en Sahouè) de novembre à mars.

Tableau 14 : Calendrier cultural des trois villages étudiés

Villages	Zone écologique	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai
Agbédr anfo	Partie Aménagée du bas- fond	RIZ						GOMBO					
								CRINCRIN					
	Partie non aménagée du bas- fond	SANS CULTURES						GOMBO + PIMENT VERT					
								CRIN_CRIN					
Vovoka nmey	Bas fond	RIZ						MAÏS VERT					
Houing a	Bas fond	RIZ						TOMATE, CRINCRIN, GBOMA			SANS CULTURES (PÉNURIE D’EAU)		
	Franges du bas fond	TOMATE, CRINCRIN, GBOMA ETC.											
Agbédr anfo, Vovoka nmey et Houing a	Terres de plateau	PIMENT ROUGE						SANS CULTURES			MAÏS GRAIN		
		MAÏS GRAIN											
		NIÉBÉ											
		MANIOC											

Source : résultats d'enquête (2010)

En effet, les producteurs exercent plusieurs activités agricoles et para-agricoles de sorte à mieux exploiter les ressources dont ils disposent. Ils font en général la riziculture en zone de bas-fond et la production de divers vivriers sur le plateau pendant les saisons de pluies. Le maïs est la principale culture vivrière pratiquée sur le plateau. Il occupe la majorité des terres pendant la grande saison sèche qui démarre en mars. Son emblavure est réduite pendant la petite saison pluvieuse par des cultures du manioc, du piment et du niébé qui viennent en relaie sur certaines parcelles de maïs de la première saison. Au cours des périodes sèches, les producteurs font les cultures de diversification (cultures maraîchères et maïs vert) dans les bas-fonds. En plus de ces cultures de diversification, les producteurs pratiquent généralement des activités de transformation des produits agricoles : le Gari à partir du manioc, l'huile rouge à partir des noix de palme, le Sodabi à partir du palmier, etc. Selon les producteurs, ces activités de transformation notamment la production du Gari et du Sodabi sont plus rentables en période sèche pour deux raisons : la meilleure productivité de la matière première et la disponibilité de la main-d'œuvre familiale (main-d'œuvre gratuite).

Par ailleurs, on observe une occupation temporaire des producteurs de Houinga dans les minerais de graviers pendant qu'il y a pénurie d'eau dans le bas-fond en saison sèche et que la culture de diversification ne peut plus être poursuivie.

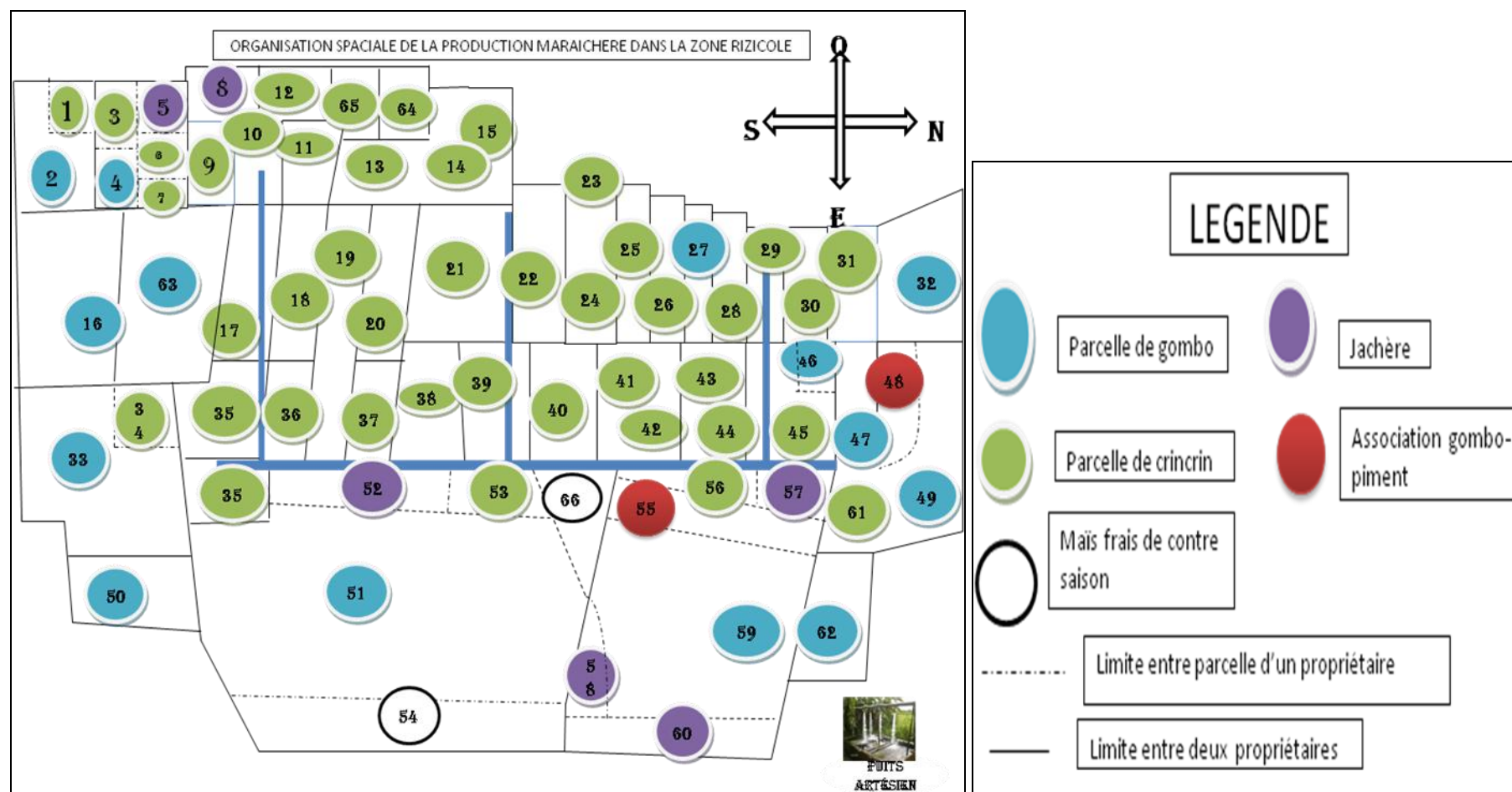


Figure 22 : Organisation spatiale du périmètre aménagé d'Agbédranfo au cours de la campagne de contre saison 2010 (Source : Résultats d'enquête 2010)

On note de cette figure que principalement deux cultures maraîchères sont observées dans le périmètre aménagé d'Agbédranfo au cours de la campagne de contre saison. Il s'agit du crinrin et du Gombo. Les parcelles de crinrin sont les plus représentatives sur le périmètre aménagé d'Agbédranfo pendant les campagnes de contre saisons. Elles représentent environ 70 % des parcelles dénombrées sur le périmètre. Mais leurs superficies sont relativement plus faibles que celles du Gombo. Ce taux de représentativité des parcelles du crinrin est une confirmation de l'intérêt qu'accordent les producteurs pour cette culture.

4.1-4. Rentabilité financière de la culture du crinclin, du gombo et du maïs en frais

Tableau 15 : Compte d'exploitation de 200 m² de culture du crinclin

	RUBRIQUES		Unité de mesure	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	valeur
1	Recettes					
1.1	Récoltes (5 coupes en moyenne)		Panier	43	1200 F	51 600 F
	Sous Total 1					51 600 F
2	Coûts variables1(Intrants)	Semences	Litre	1	1200 F	1 200 F
		Fumure minérale (Urée)	Kg	5,264	500 F	2 632
		Produits phytosanitaires (Lambda 2,5CE)	L	0,125	5000 F	625F
	Sous-total 2					4 457 F
3	Coûts variables2 (Main d'œuvre)	Défrichage	Kt	0,5	1000 F	500 F
		Labour	Kt	0,5	2500 F	1250 F
		Planage	Kt	0,5	forfait	500 F
		Désherbage	Kt	0,5X5	3500 F	8750 F
		Irrigation	Kt	0,5	forfait	3000 F
		Récolte	Panier	43	100 F	4300 F
		Sous-total 3				18 300 F
	Total charges variables					22757 F
4	Charges fixes	Durée d'utilisation	quantités	Prix unitaire	valeur	Amortissem ent par cycle de production
4.1	Terre		0,5 Kt	0	0	0
4.2	Houe pour labour	10 cycles	1	2000 F	2000 F	200 F
4.3	Houe pour planage	5 cycles	1	800 F	800 F	160 F
4.4	Pulvérisateur	20 cycles	1	37500 F	37500 F	1 875 F
4.5	Tuyaux PVC	20 cycles	10	2500 F	25000 F	1 250 F
	Total charges fixes					3 485 F

Source : résultats d'enquête (2010)

✚ produit brut = Sous-total 1= 51 600 FCFA pour 200 m²

✚ Charges variables totales 22757 FCFA pour 200 m²

✚ Charges fixes totales = 3 485 FCFA

✚ Coût d'opération= Charges variables + charges fixes = 26 242 FCFA

✚ marge brute = Produit brut – charges variables = 28 843FCFA pour 200 m²

✚ Seuil de rentabilité = charges fixes/ (marge brut/200) = 3 485 FCFA /144,22 FCFA/m²
=24,16 m²

L'activité de production du crinclin serait rentable à partir de l'exploitation de 25 m².

Tableau 16 : Compte d'exploitation de 400 m² de culture du Gombo

	RUBRIQUES			Unité de mesure	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	valeur
1	Recettes						
1.1	Récoltes (10récoltes en moyenne)			Bassine	7	2000 F	14 000 F
	Sous Total 1						14 000 F
2	Coûts variables1(Intrants)	Semences		Tohouingodo	1	500 F	500 F
		Fumure minérale	(Urée)	Kg	2,632	500 F	1 316 F
			(NPK)	Kg	5,369	500 F	2684,5 F
		Produits phytosanitaires (Lambda 2,5CE)		L	0,125	5000 F	625 F
Sous-total 2							5 125,5 F
3	Coûts variables2 (Main d’œuvre)	Défrichage		Kt	1	1000 F	1000 F
		Labour		Kt	1	1 000 F	1 000 F
		Semis		Kt	1	Forfait	500 F
		Désherbage		Kt	1x3	700	2 100 F
		Irrigation		Kt	1	Forfait	3000 F
		Récolte		Bassine	7	forfait	700 F
		Sous-total 3					8 300 F
	Total charges variables						13425,5 F
4	Charges fixes	Durée d’utilisation	Quantités	Prix unitaire	valeur	Amortissement par cycle de production	
4.1	Terre		1Kt	0	0	0	
4.2	Houe	8 cycles	1	1200 F	1200F	150 F	
4.3	Coupe coup	10 cycles	1	2000 F	2000F	200 F	
4.4	Pulvérisateur	20 cycles	1	37500 F	37500F	1 875 F	
4.5	Tuyaux PVC	20 cycles	10	2500 F	25000F	1 250 F	
	Total charges fixes					3 475 F	

Source : résultats d'enquête (2010)

- ✚ produit brut = Sous-total 1= 14 000 FCFA pour 400 m²
- ✚ Charges variables totales 13425,5 FCFA pour 400 m²
- ✚ Charges fixes totales = 3 475 FCFA
- ✚ Coût d'opération= Charges variables + charges fixes = 16910,5 FCFA

- ✚ marge brute = Produit brut – charges variables = 574,5 FCFA pour 400 m²
- ✚ Seuil de rentabilité = charges fixes/ (marge brute/400) = 3475 FCFA /1,436 FCFA/m²
=2419,92 m² soit 6,05 kt
- ✚ L'activité de production du gombo serait rentable à partir de l'exploitation de 2420 m².

Tableau 17 : Compte d'exploitation de 200 m² de culture du maïs vert ou maïs frais

	Rubriques		Unité de mesure	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	valeur	
1	Recettes						
1.1	Récolte (valeurs moyenne observée pour 200 m²)					10 120 F	
	Sous Total 1					10 120 F	
2	Coûts variables1(Intrants)	Semences		tohouingodo	0,5	300 F	150 F
		Fumure minérale	(Urée)	Kg	0,658	500 F	329 F
			(NPK)	Kg	1,79	500 F	895 F
		Produits phytosanitaires (Lambda 2,5CE)		Néant			
Sous-total 2						1 374 F	
3	Coûts variables2 (Main d’œuvre)	Défrichage		Kt	1	1000 F	1 000 F
		Labour		Kt	1	1 000 F	1 000 F
		Semis		Kt	1	forfait	500 F
		Désherbage		Kt	1x3	700 F	2 100 F
		Irrigation		Kt	1	forfait	2000 F
		Récolte		Kt	1	forfait	500 F
		Sous-total 3					7100 F
	Total charges variables			8 474 F			
4	Charges fixes	Durée d’utilisation	quantités	Prix unitaire	valeur	Amortissement par cycle de production	
4.1	Terre		0,5 Kt	0	0	0	
4.2	Houe	5 cycles	1	1200 F	1200 F	240 F	
4.3	Coupe coupe	10 cycles	1	2000 F	2000 F	200 F	
	Total charges fixes					440 F	

Source : résultats d'enquête (2010)

✚ produit brut = Sous-total 1= 10 120 FCFA pour 400 m²

✚ Charges variables totales 8 474 CFA pour 400 m²

✚ Charges fixes totales = 440 FCFA

✚ Coût d'opération= Charges variables + charges fixes = 8914 FCFA

- ✚ marge brute = Produit brut – charges variables = 1 646 FCFA pour 400 m²
- ✚ Seuil de rentabilité = charges fixes/(marge brute/400) = 440 FCFA /8,23 FCFA/m²
=53,46 m²
- ✚
- ✚ L'activité de production du maïs de contre saison serait rentable à partir de l'exploitation de 54 m².

NB : Kt =Kantin. C'est une unité de mesure locale des superficies (voir tableau 1 : correspondances des unités de mesure locales).

Les superficies retenues pour l'analyse financière des différentes cultures s'adaptent à la superficie généralement utilisée par les producteurs. Ceci pour faciliter les estimations (estimation d'intrants, de main-d'œuvre et des quantités de produits récoltés).

CONCLUSION PARTIELLE

La connaissance de la diversité des pratiques paysannes est un préalable à l'amélioration des performances des systèmes de culture rencontrés dans ces bas-fonds.

Les modes de conduite des cultures de diversification sont peu variables pour les différentes zones étudiées. Les principales différences sont observées au niveau des pratiques de fertilisation, de contrôle phytosanitaire et d'irrigation. Les divergences au niveau de l'irrigation sont dues aux dispositifs d'irrigation réalisés dans les bas-fonds. La fertilisation minérale et l'usage des pesticides sont observés seulement dans les bas fonds aménagés d'Agbédranfo et Vovokanmey où l'exploitation est plus intensifiée. Les pratiques culturales sont globalement caractérisées par des interventions manuelles avec une utilisation de variétés essentiellement locales. Les produits phytosanitaires utilisés par les producteurs sont en majorité des produits sans conditionnement et les doses appliquées sont généralement des doses arbitraires. Les engrais minéraux sont toujours apportés aux plantes sans enfouissement.

Les calendriers culturaux sont les mêmes dans les trois bas-fonds étudiés. Les producteurs font généralement la riziculture dans le bas-fond et les cultures vivrières (maïs, manioc, niébé ...) dans la zone de plateau pendant les saisons pluvieuses. En saison sèche, ils pratiquent les cultures de diversification (cultures maraîchages et maïs vert) dans les bas-fonds pendant que les terres de plateaux sont abandonnées en attendant la prochaine saison pluvieuse.

Par ailleurs, le crincri a été identifié comme principale culture de diversification dans le bas fond aménagé d'Agbédranfo en termes d'emblavure (70% des parcelles du périmètre aménagé d'Agbédranfo) et en termes de rentabilité financière. Mais, les producteurs emploient plus d'urée pour la production de cette culture comparativement aux autres cultures (409 ± 76 kg/ha contre 66 ± 15 kg /ha pour le Gombo). Ces doses appliquées arbitrairement par les producteurs méritent d'être ajustées par des références de fertilisation efficiente pour des raisons économiques et environnementales.

4.2- EFFET DE L'AZOTE SUR LA CULTURE DU CRINCRIN (CORCHORUS OLITORIUS L.) ET ELABORATION DE LA COURBE DE DILUTION CRITIQUE DE L'AZOTE

4.2-1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des sites d'essai

a- La texture

Le tableau 18 montre les caractéristiques texturales de l'horizon de surface (0-20 cm) des sols des sites d'étude. Les horizons superficiels des sols de ces sites disposent d'un faible taux d'argile (20,75% pour le sol de la FSA et 18,5% pour celui du PCM) associé à un taux élevé de Sable (76,5% pour le sol de la FSA et 81% pour le sol du PCM) avec 2,75% de limon à la FSA et 0,5% au PCM. Selon le diagramme textural de Jamagne (1967) cité par Baize (2000), il ressort que le sol de la FSA a une texture Limono-argilo-sableuse et celui du PCM a une texture limono-sableuse. Ces types de sol possèdent une faible capacité de rétention en eau et en éléments minéraux avec un risque fort de lessivage des éléments fertilisants apportés au cours de l'essai.

Tableau 18: Caractérisation texturale des sols des sites d'essai

Sites	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Type de texture
FSA	76,5	2,75	20,75	Limono-argilo-sableuse
PCM	81	0,5	18,5	Limono-sableuse

b- Le complexe adsorbant

Le tableau 19 ci-dessous présente les caractéristiques chimiques des sols de la FSA et du PCM avant essai. L'état des sols avant l'installation de l'essai varie d'un site à l'autre. De façon globale, les valeurs des différents paramètres obtenues au niveau du site de la FSA sont plus élevées que celles obtenues sur le site du PCM.

Tableau 19 : Principales caractéristiques chimiques du sol de la FSA et du PCM avant essai

Sites	pH eau	C/N	S (méq/100g)	CEC	V (%)
FSA	5,48± 0,21	15,67± 1,04	3,64± 0,27	11,00	33,07± 0,26
PCM	5,39± 0,08	13,43± 2,40	2,96± 0,34	9,00	32,85± 1,77

Tableau 20 : Principales caractéristiques chimiques du sol de la FSA après essai

Traitements	pH eau	C/N	S (méq/100g)	CEC	V (%)
FSA-T0	5,80a ± 0,15	16,00 ± 1,00	3,46a ± 0,20	9,00b	28,68a ± 2,17
FSA-T1	5,42bc ± 0,28	11,71 ± 0,47	3,11c ± 0,02	11,00a	28,25b ± 0,20
FSA-T2	5,27bc ± 0,18	12,57 ± 0,66	2,54d ± 0,01	8,00c	31,81cd ± 0,14
FSA-T3	5,49b ± 0,18	11,28 ± 1,11	2,90c ± 0,01	9,00b	32,26cd ± 0,14
FSA-T4	5,39bc ± 0,11	10,27 ± 1,87	3,09c ± 0,05	9,00b	34,35b ± 0,46
FSA-T5	5,13c ± 0,04	10,93 ± 0,81	3,31b ± 0,05	10,00a	33,14bc ± 0,47

Tableau 21 : Principales caractéristiques chimiques du sol du PCM après essai

Traitements	pH eau	C/N	S (méq/100g)	CEC	V (%)
PCM-T0	5,58a ± 0,21	17,04 ± 2,11	2,32b ± 0,11	8,00ab	27,26ab ± 4,39
PCM-T1	5,41a ± 0,07	13,35 ± 1,72	2,02c ± 0,07	7,00b	27,56ab ± 1,10
PCM-T2	5,36a ± 0,15	12,96 ± 0,88	1,87c ± 0,06	7,00b	25,23b ± 0,91
PCM-T3	5,24a ± 0,08	9,61 ± 0,40	2,27b ± 0,07	8,00ab	28,26b ± 0,92
PCM-T4	5,35a ± 0,23	9,29 ± 0,60	2,93a ± 0,03	9,00a	32,57a ± 0,37

NB : les chiffres qui portent les mêmes lettres sont non significativement différents au seuil de 5%.

L'analyse de variance des différents paramètres chimiques des sols après essai montre des effets significatifs au seuil de 5% pour tous les paramètres chimiques du complexe adsorbant excepté le phosphore total sur le site de la FSA et le pH sur le site du PCM (voir annexe 4 : résultats d'ANOVA des paramètres chimiques du sol).

Le pH

L'acidité du sol a varié suivant les traitements. Le sol du traitement témoin (T0) est moins acide comparativement aux sols des autres traitements. Ainsi, l'apport d'urée a provoqué une augmentation de l'acidité des sols des deux sites étudiés. Ces résultats corroborent ceux de Arakongné (2009) qui ont prouvé que l'apport d'engrais minéral (NPK) augmente l'acidité des sols.

Le Carbone organique (Corg) et l'azote total (N-total)

La teneur en carbone organique (Corg) au niveau des horizons de surface étudiés (0-20 cm) a varié également suivant les traitements reçus par cette dernière. Le sol du traitement témoin (T0) a un taux de carbone organique plus élevé que ceux des autres traitements. Ce

taux de carbone organique du traitement témoin (après essai) est par contre plus faible que celui obtenu dans les sols avant essai. Ainsi, on note une réduction du taux de carbone organique au cours de la conduite des essais et cette réduction est plus importante lorsqu'on apporte de l'azote aux cultures.

Les teneurs en azote sur les sols des deux sites d'étude sont globalement reliées aux doses d'azote que ces sols ont reçues. Ainsi, le traitement T5 qui a reçu la plus forte dose (240 kg N/ha) présente la plus forte teneur en azote et le traitement T0 présente la plus faible teneur. Les teneurs en azote des sols après essais sont supérieures à la teneur observée avant essais sauf pour le traitement T0.

D'après Boyer en 1982, ces sols sont pauvres en azote car les teneurs en azote sont inférieures à 0,075% quel que soit le site ou le traitement considéré. La teneur de l'azote total étant en relation avec celle du carbone organique, elle sert à caractériser la fertilité chimique et l'activité microbiologique des sols en calculant le rapport C/N. Quel que soit le traitement et le site d'étude, les sols étudiés présentent un ratio $C/N < 20$. Ceci témoigne que l'activité biologique des sols est bonne. En effet, selon Baize (2000), en sols agricoles, un rapport C/N supérieur ou égal à 20-25 indique une mauvaise activité biologique.

La Capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un horizon de sol est la quantité totale de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant. C'est un paramètre résultant d'une part de la nature minéralogique de la fraction argileuse et d'autre part de la teneur en matière organique du sol. Les sols avant essais des sites de la FSA et du PCM présentent respectivement des CEC égales à 11 méq/100g et 9 méq/100g. En se référant à Mallouhi (1997), ces CEC sont faibles car elles sont toutes inférieures à 15 méq/100g. Ces valeurs ont subi une réduction après essais. Cette réduction est autant plus importante que la teneur en matière organique du sol est plus faible.

La Somme des bases échangeables

D'après Mallouhi (1997), la somme des bases échangeables est moyenne lorsque sa valeur est comprise entre 5 et 10 méq/100 g, forte entre 10 et 15 méq/100g, très forte lorsqu'elle est supérieure à 15 méq/100g et faible pour des valeurs de $S < 5$. Les valeurs obtenues sur les sols étudiés sont tous inférieures à 5 (voir tableaux 20 et 21). Ainsi les sommes des bases des sols sont faibles et elles sont plus faibles après essai qu'avant essai. De

plus, on note que le sol du traitement témoin a une valeur significativement supérieure à celle des autres traitements au seuil de 5%. Ceci est également le cas pour les taux de saturations (V). Le taux de saturation du complexe absorbant ($V = S/CEC$) est le degré d'occupation des sites négatifs du complexe absorbant. Il s'exprime en %.

4.2-2. Effet de l'azote sur la croissance du crincri

a- Effet sur la hauteur du plant

Les tableaux 22 et 23 présentent les résultats de l'analyse de variances appliquée à la hauteur des plantes observée respectivement sur le site de la FSA et du PCM.

Tableau 22 : Résultats d'ANOVA de la taille des plants (site de la FSA)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	214.458333	71.486111	0.92	0.4558
Traitement	5	2408.708333	481.741667	6.19	0.0026

Pr $\leq 0,1\%$ = très hautement significatif ; $0,1\% < Pr \leq 1\%$ = hautement significatif ; $1\% < Pr \leq 5\%$ = significatif ; $5\% < Pr$ = non significatif

Tableau 23 : Résultats d'ANOVA de la taille des plants (site du PCM)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	843.9000000	281.3000000	3.25	0.0599
Traitement	4	852.1250000	213.0312500	2.46	0.1017

Pr $\leq 0,1\%$ = très hautement significatif ; $0,1\% < Pr \leq 1\%$ = hautement significatif ; $1\% < Pr \leq 5\%$ = significatif ; $5\% < Pr$ = non significatif

On note un effet hautement significatif des traitements sur la taille des plants à la FSA ($P=0,0026 < 1\%$). Par contre, cet effet est non significatif au seuil de 5% sur le site du PCM ($P=0,1017 > 5\%$) mais il existe de légères différences dans les hauteurs moyennes calculées (voir annexe 1). Ainsi, le classement à base du test de STUDENT-NEWMAN-KEULS (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 % se présente comme suit :

Sites	FSA	PCM
-------	-----	-----

Classement (SNK) par ordre décroissant	T3 _A ; T2 _A ; T4 _A ; T5 _A ; T1 _B ; T0 _B	T2 _A ; T3 _A ; T4 _A ; T1 _A ; T0 _A
---	---	---

NB : Les traitements qui portent la même lettre sont non significativement différents au seuil de 5%.

b- Effet sur le nombre de feuilles produites

Les tableaux 24 et 25 présentent les résultats de l'analyse de variances appliquée au nombre de feuilles observé respectivement sur le site de la FSA et du PCM

Tableau 24 : Résultats d'ANOVA du nombre de feuilles par plant (site de la FSA)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	0.12430567	0.04143522	5.17	0.0119
Traitement	5	0.33276779	0.06655356	8.30	0.0006

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

Tableau 25 : Résultats d'ANOVA du nombre de feuilles par plant (site du PCM)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	0.36989165	0.12329722	4.33	0.0275
Traitement	4	0.45929611	0.11482403	4.03	0.0267

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

On note un effet très hautement significatif et significatif des traitements sur la production de feuilles respectivement à la FSA et au PCM (Pr= 0,0006 < 0,1% et P=0,0267 < 5% respectivement à la FSA et au PCM). Ainsi, le classement à base du test de STUDENT-NEWMAN-KEULS (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 % se présente comme suit :

Sites	FSA	PCM
Classement (SNK) par ordre décroissant	T2 _A ; T3 _A ; T5 _A ; T4 _B ; T1 _B ; T0 _C	T2 _A ; T3 _B ; T4 _B ; T1 _B ; T0 _C

NB : Les traitements qui portent la même lettre sont non significativement différents au seuil de 5%.

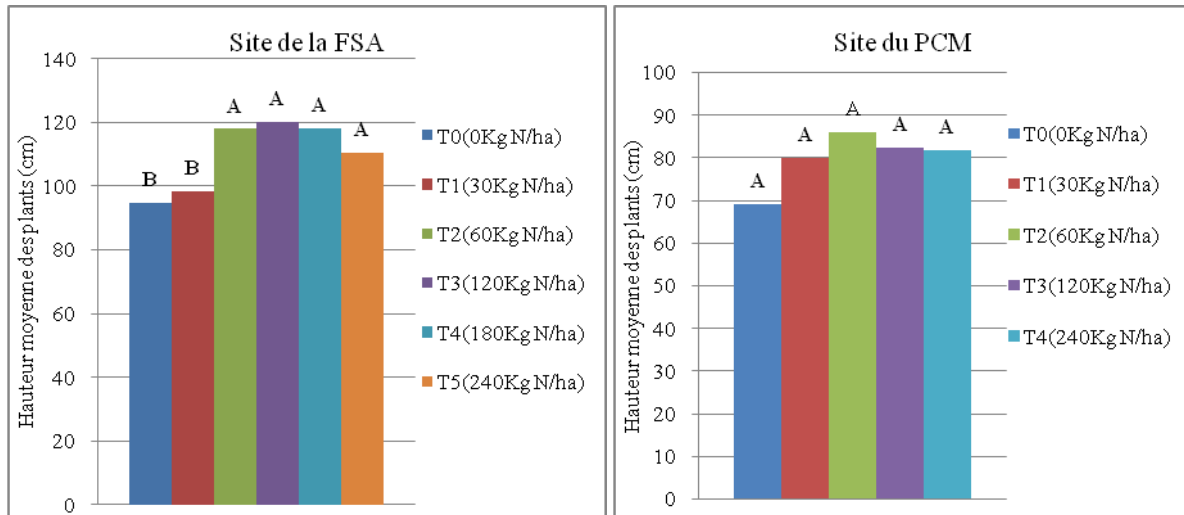


Figure 23 : Hauteur moyenne des plants par traitement

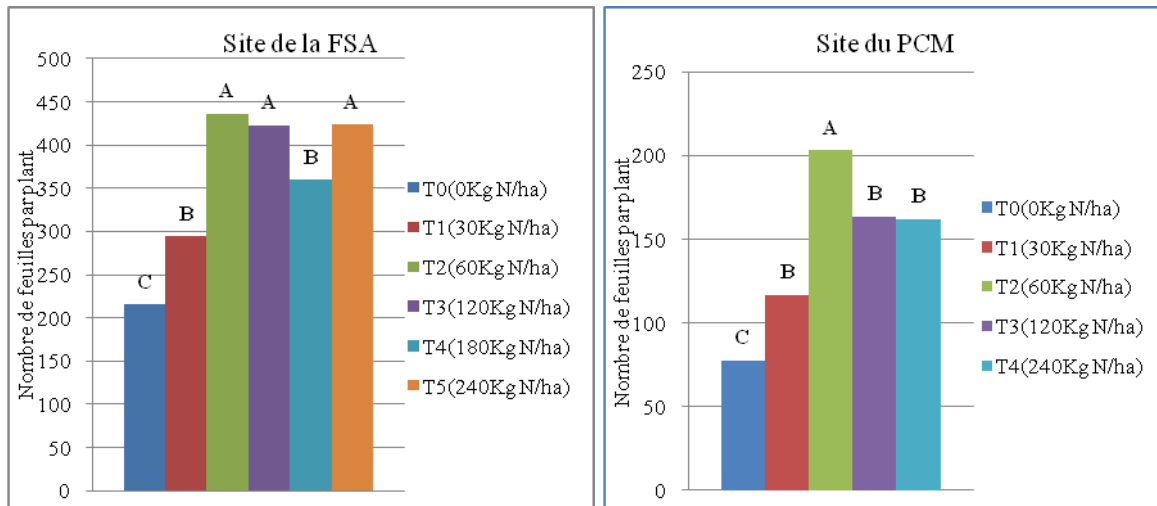


Figure 24: Nombre moyen de feuille par plant par traitement

c- Taux de croissance

La figure 25 montre les taux de croissance des plantes en hauteur par période d'observation des traitements T3 et T0 qui représentent respectivement les taux maxima et minima observés.

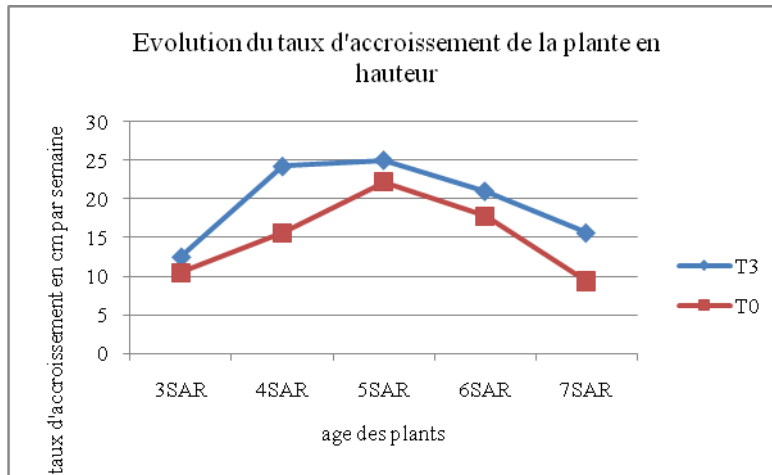


Figure 25 : Taux de croissance en hauteur

En effet, tous les traitements ont présenté un taux d'accroissement croissant du début de la période végétative jusqu'à la cinquième semaine après repiquage. Ainsi, la plante a une meilleure croissance en hauteur à cinq semaines après repiquage.

Concernant les taux de production de feuilles (figure 26), on remarque ces taux sont croissants du début jusqu'à la cinquième semaine et ont baissé à la sixième semaine avant de connaître une autre augmentation. La diminution du taux de production observée à partir de la cinquième semaine serait due au phénomène physiologique de transition (phase végétative et phase de reproduction) car c'est à cette période que les fleurs ont commencé leur apparition.

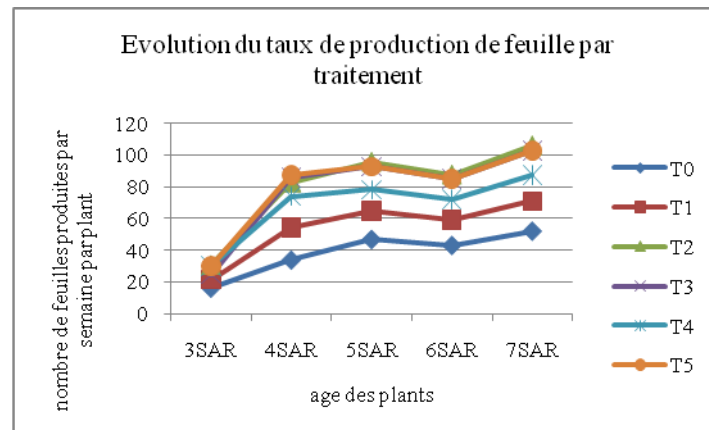


Figure 26 : Taux de production de feuilles

4.2-3. Effet de l'azote sur les biomasses fraîche et sèche produites

a- Biomasse fraîche

- Analyse de variance de la biomasse fraîche

Les tableaux 26 et 27 présentent les résultats de l'analyse de variance appliquée à la masse de la biomasse fraîche produite respectivement à la FSA et au PCM.

Tableau 26 : Résultats d'ANOVA de la biomasse fraîche produite (site de la FSA)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	13.855413	4.618471	0.30	0.8254
Traitement	5	1074.193987	214.838798	13.92	<.0001

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

Tableau 27: Résultats d'ANOVA de la biomasse fraîche produite (site du PCM)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	15.30331775	5.10110592	1.25	0.3347
Traitement	4	64.97997130	16.24499283	3.98	0.0278

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

On note un effet très hautement significatif et significatif des traitements sur la production de biomasse fraîche respectivement à la FSA et au PCM (Pr<.0001 et Pr=0,02278 respectivement à la FSA et au PCM). Ainsi, le classement à base du test de STUDENT-NEWMAN-KEULS (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 % se présente comme suit :

Sites	FSA	PCM
Classement (SNK) par ordre décroissant	T3 _A ; T4 _A ; T2 _B ; T1 _B ; T5 _B ; T0 _C	T2 _A ; T3 _B ; T4 _B ; T1 _B ; T0 _C

NB : Les traitements qui portent la même lettre sont non significativement différents au seuil de 5%.

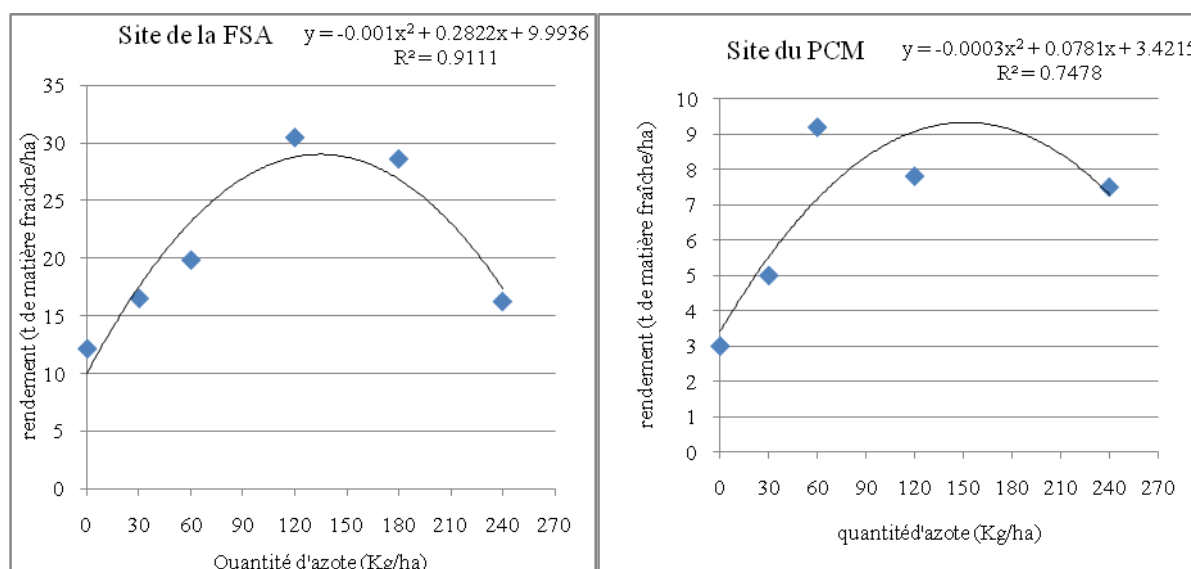


Figure 27 : Courbe de production du crinrin

La figure 27 montre que les doses croissantes d'azote ont induit une augmentation du rendement jusqu'à un niveau optimal où la matière azotée a commencé à avoir un effet dépressif sur le rendement. Le niveau optimal est observé avec la dose 120 kg N/ha sur le site de la FSA ($30,43 \pm 2,96$ tonnes de biomasse fraîche par hectare). Par contre, sur le site du PCM, l'optimum est observé avec la dose 60 kg N/ha ($9,18 \pm 3,04$ tonnes de biomasse fraîche par hectare).

Par ailleurs, on note une bonne corrélation entre la biomasse fraîche produite et la quantité d'azote employée sur le site de la FSA ($R^2 = 0,91$). Par contre, cette corrélation est relativement faible avec les données du site du PCM ($R^2 = 0,75 < 0,9$). Ceci serait dû aux attaques de nématodes observées notamment sur le site du PCM et en partie aux caractéristiques physico-chimiques du sol avant essai.

En effet, les caractéristiques physico-chimiques du sol sont différentes pour les deux sites expérimentaux. Le sol de la FSA a une meilleure composition en argile et en limon comparativement à celui du PCM (voir tableau 18 et 19). Cette caractéristique confère une meilleure résistance au lessivage des minéraux sur le site de la FSA comparativement au site du PCM. De même, l'essai du PCM a été plus sensible aux attaques de nématodes et ceci serait dû à la plus faible teneur en matière organique constatée dans le sol du PCM car selon Schippers (2004), la matière organique augmente la résistance des cultures aux attaques de nématodes.

La courbe de production du crinrin montre deux principales phases : i) la phase de croissance de la production sous l'influence de la matière azotée, ii) la phase de déclin qui

exprime l'effet dépressif de l'azote sur le rendement à partir d'un seuil donné. Les deux phases sont ainsi séparées par un niveau optimal généralement appelé optimum physique.

b- Biomasse sèche

Les tableaux 28 et 29 présentent les résultats de l'analyse de variance appliquée à la masse de la biomasse sèche produite respectivement à la FSA et au PCM.

Tableau 28 : Résultats d'ANOVA de la biomasse sèche produite (site de la FSA)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	1.26357917	0.42119306	0.43	0.7377
Traitement	5	30.74488750	6.14897750	6.21	0.0026

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

Tableau 29: Résultats d'ANOVA de la biomasse sèche produite (site du PCM)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	0.82257880	0.27419293	1.61	0.2385
Traitement	4	2.61765680	0.65441420	3.85	0.0309

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

On note un effet hautement significatif et significatif des traitements sur la production de biomasse sèche respectivement à la FSA et au PCM (Pr=0.0026 et Pr=0,02278 respectivement à la FSA et au PCM). Ainsi, le classement à base du test de Student-Newman-Keuls (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 % se présente comme suit :

Sites	FSA	PCM
Classement (SNK) par ordre décroissant	T3A ; T4A ; T2B ; T1B ; T5B ; T0C	T2A ; T3B ; T4B ; T1B ; T0C

NB : Les traitements qui portent la même lettre sont non significativement différents au seuil de 5%.

4.2-4. Effet de l'azote sur l'indice de surface foliaire

L'indice de surface foliaire est une grandeur sans dimension qui exprime la surface foliaire d'un peuplement végétatif par unité de surface de sol. C'est un facteur majeur de la production végétale car il représente la surface par laquelle les flux de carbone (échange photosynthétique) et d'eau (transpiration) transitent. Il sert à quantifier de nombreux processus biologiques et physiques tels la production primaire, la transpiration, la photosynthèse et les cycles de nutriments (Nathalie, 1999).

Les tableaux 30 et 31 présentent les résultats de l'analyse de variances appliquée à l'indice de la surface foliaire respectivement à la FSA et au PCM.

Tableau 30 : Résultats d'ANOVA de l'indice foliaire (site de la FSA)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	0.33433883	0.11144628	0.23	0.8770
Traitement	5	38.60894283	7.72178857	15.65	<.0001

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

Tableau 31: Résultats d'ANOVA de l'indice foliaire (site du PCM)

Source	DF	Somme des Carrés	Carré moyen	Valeur F	Pr > F
Répétition	3	0.50943365	0.16981122	0.90	0.4716
Traitement	4	2.28074174	0.57018544	3.01	0.0621

Pr ≤0,1%= très hautement significatif ; 0,1%<Pr ≤1%= hautement significatif ; 1%<Pr ≤5%= significatif ; 5%<Pr= non significatif

On note un effet très hautement significatif des traitements sur l'indice de la surface foliaire sur le site de la FSA (Pr < 0.0001). Par contre, cet effet est non significatif au seuil de 5% sur le site du PCM (P=0,0621>5%) , mais il existe de légères différences dans les valeurs moyennes calculées (voir annexe 3). Ainsi, le classement à base du test de Student-Newman-Keuls (SNK) basé sur le calcul de la plus petite amplitude significative (PPAS) au seuil de 5 % se présente comme suit :

Sites	FSA	PCM
Classement général	T3 _A ; T4 _A ; T2 _B ; T1 _B ; T5 _B ; T0 _C	T2 _A ; T3 _A ; T4 _A ; T1 _A ; T0 _A

4.2-5. Coefficients d'utilisation de l'azote

Le coefficient apparent d'utilisation de l'azote est le rapport du supplément de l'azote prélevé, entre une culture fertilisée et la même culture non fertilisée, à la quantité d'azote apportée (Lozet et Mathieu, 2002).

$$CAU(\%) = \frac{Nx - No}{X}$$

Avec :

Nx = quantité d'azote prélevée par une culture à la dose x ;

No = quantité d'azote prélevée par la même culture à la dose nulle ;

X = dose totale d'azote apporté à la culture.

Cette notion est plus couramment utilisée en fertilisation azotée à défaut du coefficient réel d'utilisation de l'azote qui ne peut être apprécié que si l'azote est marqué. Dans ce cas, le coefficient d'utilisation de l'azote est calculé à partir de la quantité d'azote marqué (azote radioactif N ¹⁵) retrouvée dans la culture fertilisée.

a- Exportation de l'azote par le crinclin

Tableau 32 : Exportations moyennes d'azote par la plante à différentes périodes d'observation (Kg N/ha)

Traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
T0	3,389±0,145	5,060±0,066	13,667±0,918	22,477±1,449	23,368±1,047	29,022±2,209
T1	4,471±0,110	8,345±0,025	20,107±0,482	28,326±0,655	56,994±0,475	54,775±1,479
T2	7,569±0,152	12,794±0,423	30,637±1,650	37,073±0,505	57,418±0,173	80,030±1,461
T3	7,073±0,132	11,387±0,135	30,001±0,183	54,903±0,482	92,577±0,788	126,043±1,286
T4	2,768±0,136	9,777±0,414	27,888±2,054	54,372±2,554	79,344±5,662	155,440±8,961
T5	5,437±0,058	13,108±0,165	37,860±0,949	56,655±1,044	81,340±2,111	81,785±0,607

b- Coefficient apparent d'utilisation de l'azote par le crincri

Tableau 33 : Coefficient apparent d'utilisation de l'azote

Traitements	quantité d'azote exporté (Kg/ha)		coefficient apparent d'utilisation (%)	
	sol	engrais	sol	Engrais
T0	29,022	0	2,048	-
T1	29,022	25,753	2,048	85,843
T2	29,022	51,007	2,048	85,012
T3	29,022	97,021	2,0484	80,850
T4	29,022	126,418	2,0484	70,232
T5	29,022	52,762	2,0484	21,984

Ce tableau indique que le taux d'utilisation de l'azote appliqué est globalement supérieur à 80% jusqu'au niveau optimal (T3=120 kg N/ha). A partir de cet optimum, le taux d'utilisation de l'azote appliqué a commencé à décroître jusqu'à des valeurs en dessous de 50%. Ceci illustre les pertes économiques que les doses correspondantes peuvent engendrer chez les producteurs sans tenir compte de l'effet dépressif sur les rendements.

4.2-6. Détermination de la courbe de dilution critique de l'azote pour le crinclin (*Corchorus olitorius* L.)

a- Evolution de la Biomasse sèche dans les différentes parties de la plante

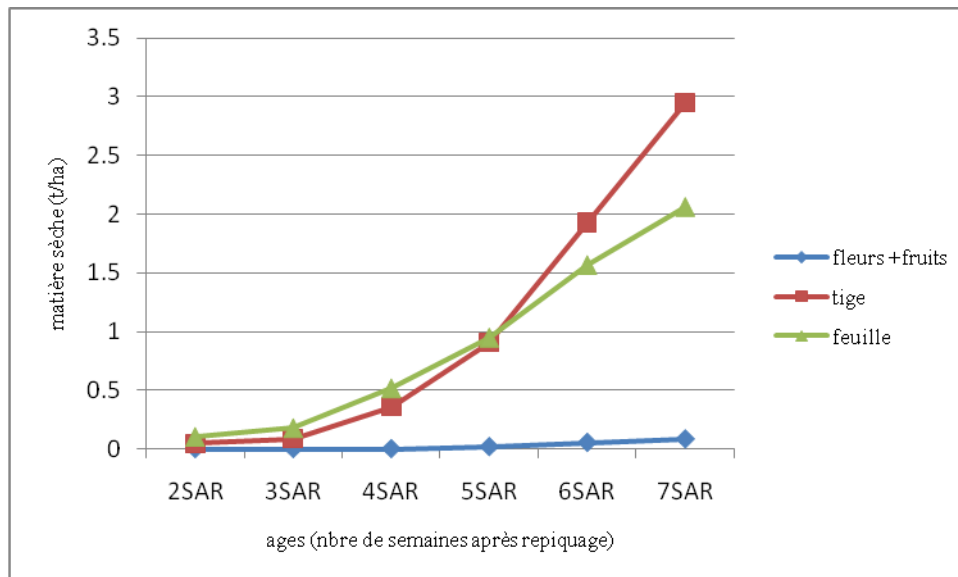


Figure 28 : Evolution de la matière sèche par partie aérienne

La figure 28 montre que la quantité de biomasse des feuilles est dominante du début de l'essai jusqu'à la cinquième semaine après repiquage où la quantité de biomasse des tiges a pris le dessus. La quantité de biomasse des organes de reproductions (fleurs+fruits) est resté nulle jusqu'à la cinquième semaine où on a commencé à avoir de très faibles valeurs. En résumé, on observe que les parties structurales de la plante (tige, fleurs +fruits) sont faibles par rapport aux parties fonctionnelles (feuilles) au début de la végétation et cette tendance est renversée vers la fin de la phase végétative (à partir de 5SAR). C'est entre autre ce phénomène qui explique la dilution de l'azote dans la biomasse totale car les feuilles qui constituent la base fonctionnelle de la plante sont plus riches en azote (azote fonctionnel).

b- Relation entre la teneur en azote et la biomasse sèche produite suivant les traitements

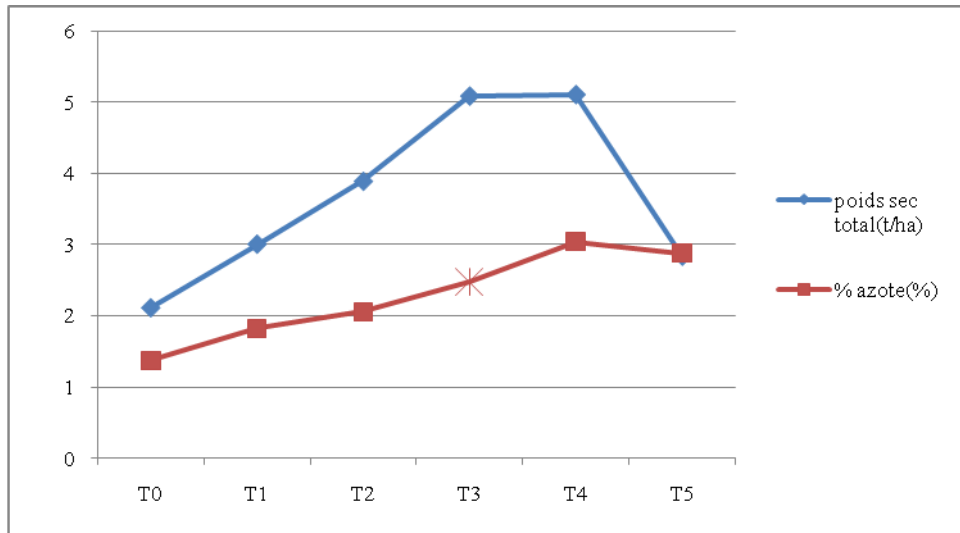


Figure 29 : Evolution de la matière sèche produite et sa teneur en azote suivant les traitements

Sur la figure 29, on note que l'application de doses croissantes d'azote à la culture du crinclin engendre une augmentation continue de la teneur en azote de la matière sèche. Par contre, la matière sèche produite par la plante augmente jusqu'à un seuil où elle n'augmente plus significativement. C'est la teneur en azote à ce seuil qu'on appelle teneur critique d'azote qui correspond au niveau de croissance optimale de la plante. Ainsi, la teneur critique d'azote est celle du traitement T3 qui correspond à la dose 120 kg N/ha sur le site expérimental de la FSA.

c- Courbe de dilution critique de l'azote dans les différentes parties aériennes de la plante

La courbe de dilution critique de l'azote est un outil de diagnostic de l'état de nutrition azoté des cultures. Selon Lemaire *et al.* (1985), la courbe de dilution critique de l'azote peut être élaborée avec la plante toute entière ou une partie de la plante. La courbe qui convient le mieux pour la détermination de l'indice de nutrition azoté est celle dont la corrélation est meilleure.

La figure 30 ci-dessous montre les courbes de dilution critique de l'azote pour les différentes parties aériennes du crincri (feuille, tige, fleurs+ fruit) et la plante entière. Ces courbes ont été établies avec des données collectées sur le site de la FSA car l'essai du PCM a été très affecté par les nématodes. On note que la courbe de dilution critique de l'azote établie avec les organes de reproduction (fleurs+fruits) présente une forme linéaire ce qui est contraire aux principes généraux de dilution de l'azote. Par contre, les autres parties de la plante et la plante entière répondent à ce principe dans l'ordre de précision croissante suivant : plante ($R^2= 0,99$) > feuille ($R^2= 0,99$) > tige ($R^2= 0,92$).

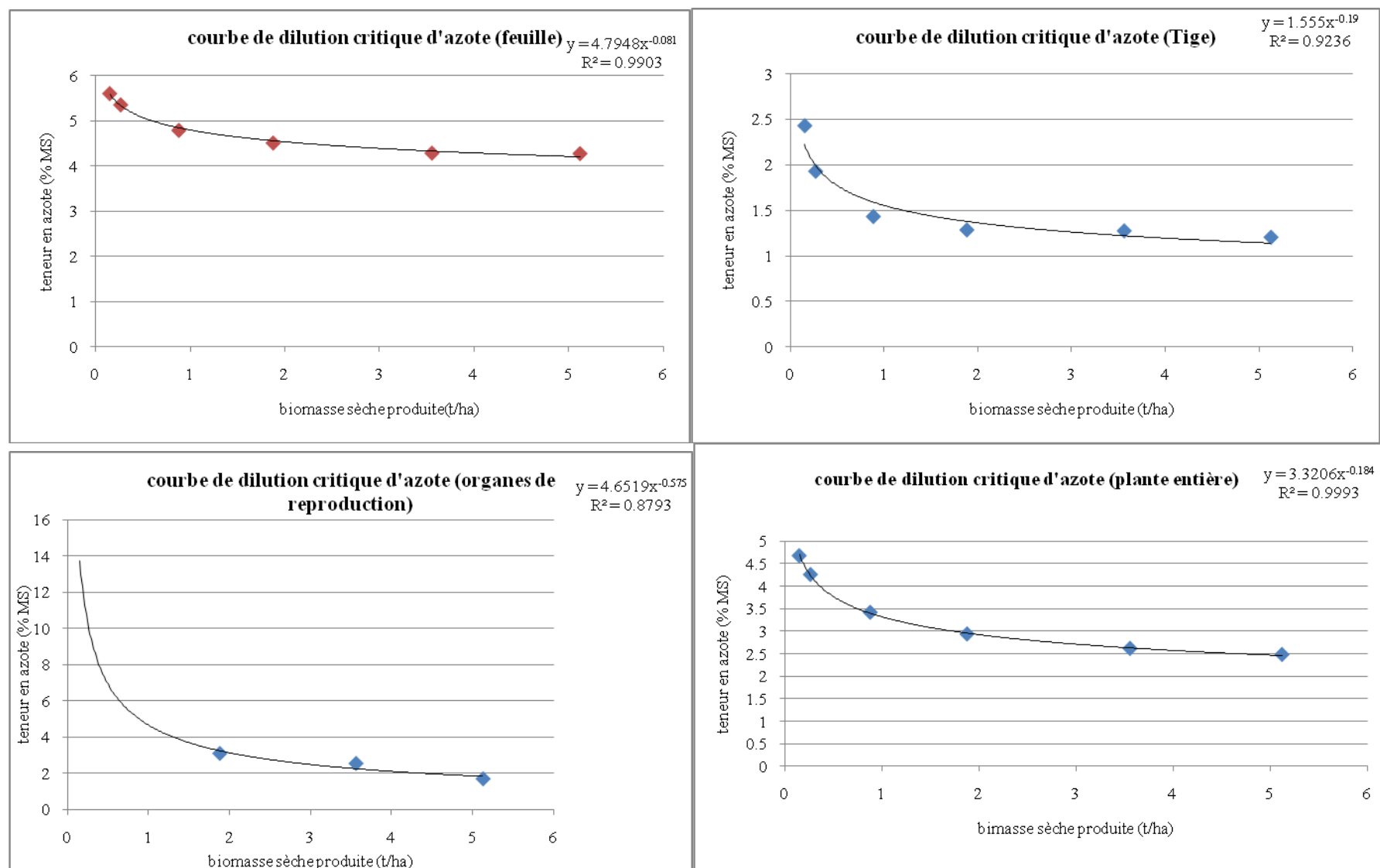


Figure 30 : Courbes de dilution critiques d'azote dans les différentes parties aériennes du crinrin (*Corchorus olitorius*)

d- Relations entre Indice de Nutrition Azotée et paramètres de croissance du crincri

Tableau 34 : Teneur en azote de la biomasse sèche

Traitement	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
moyen T0	3,93±0,32	3,90±0,12	3,08±0,28	2,38±0,25	1,91±0,17	1,37±0,44
moyen T1	4,06±0,36	3,78±0,14	3,39±0,16	2,72±0,15	2,00±0,12	1,82±0,12
moyen T2	4,53±0,15	4,11±0,16	3,35±0,34	2,85±0,24	2,37±0,10	2,06±0,15
moyen T3	4,68±0,35	4,26±0,11	3,42±0,14	2,93±0,14	2,61±0,09	2,48±0,11
moyen T4	4,75±0,68	4,76±0,54	4,04±0,54	3,58±0,68	3,12±0,79	3,04±0,75
moyen T5	5,17±0,19	4,61±0,12	4,05±0,17	3,45±0,12	2,87±0,17	2,88±0,18

Calcul des Indices de Nutrition Azotés (INN)

$$INN = \frac{No}{Nc} \quad \text{Avec}$$

INN= Indice de nutrition azoté d'un peuplement au champ ;
 No= teneur en azote d'un échantillon prélevé au champ ;
 Nc= teneur critique de l'azote correspondant au rendement observé.

Tableau 35 : Indice de nutrition azoté des différents traitements

Traitement	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
moyen T0	0,84	0,92	0,90	0,81	0,73	0,55
moyen T1	0,87	0,89	0,99	0,93	0,77	0,74
moyen T2	0,97	0,96	0,98	0,97	0,91	0,83
moyen T3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
moyen T4	1,02	1,12	1,18	1,22	1,20	1,23
moyen T5	1,10	1,08	1,19	1,18	1,10	1,16

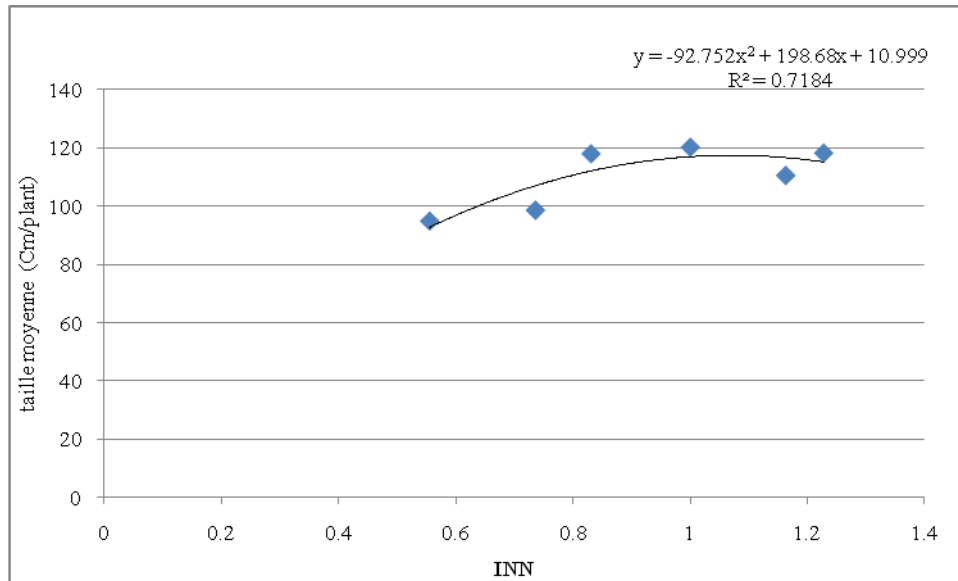


Figure 31: Relation entre l'indice de nutrition azotée et la taille

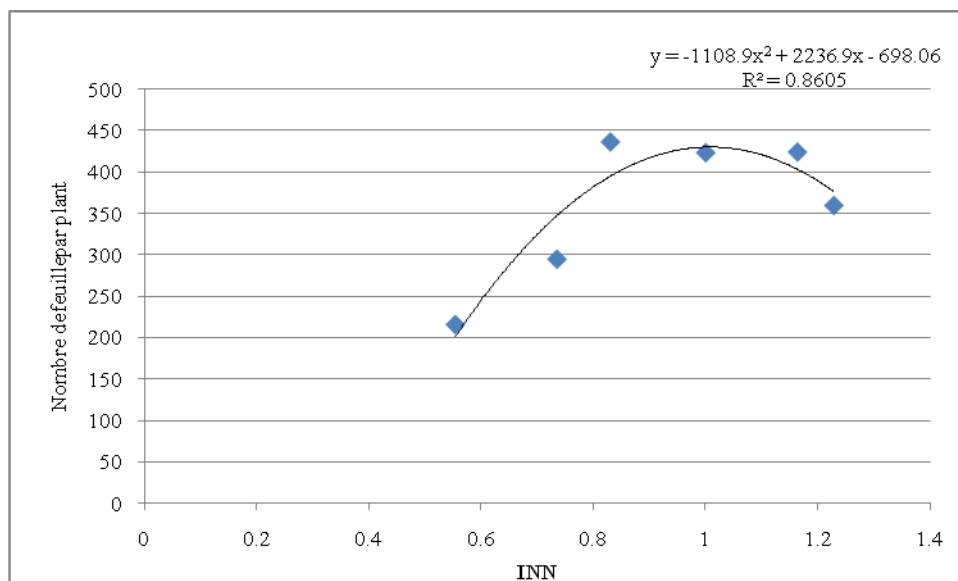


Figure 32 : Relation entre l'indice de nutrition azotée et le nombre de feuilles

Sur ces deux figures, on note que la corrélation du nombre de feuilles avec l'indice de nutrition azoté est plus importante que celle de la taille des plants. Ainsi, le paramètre de croissance nombre de feuilles pourrait être utilisé pour une estimation approximative de l'indice de nutrition azoté. Mais ceci n'est pas une bonne référence d'ajustement de la fertilisation azoté car la corrélation n'est pas parfaite ($R^2=0,86 < 0,98$).

e- Utilité pratique de l'indice de nutrition Azotée (INN) pour la gestion de la fertilisation azoté

La détermination de l'indice de nutrition azotée (INN) à des intervalles de temps réguliers permet d'optimiser les fréquences et les doses d'application de l'azote en ajustant le plus précisément possible l'offre à la demande en azote des cultures. Mais la mesure régulière de l'indice de nutrition azotée qui est possible dans les unités expérimentales, ne l'est pas dans les exploitations paysannes compte tenu du temps et de l'expertise que cela nécessite. La détermination de l'indice de nutrition azotée à un temps (t) nécessite l'estimation du rendement sec et de la teneur en azote de la matière sèche à partir d'un échantillon représentatif collecté et analysé au laboratoire. Les procédures d'échantillonnage et d'analyse au laboratoire nécessitent des techniques qui sont hors de portée de l'agriculteur. Alors l'état de nutrition azoté doit être considéré comme un indicateur de base de l'état de nutrition azoté des plantes et il serait nécessaire de développer des méthodes indirectes utilisables par les producteurs pour l'estimation de sa valeur ou des valeurs de ses deux composantes (rendement sec et teneur en azote).

La courbe de dilution critique de l'azote que nous avons obtenue pour le crinrin devra être confirmée. Après validation, elle pourra être utilisée comme indicateur de diagnostic de l'état azoté d'un peuplement de crinrin et pour établir des programmes de fertilisation azotée raisonnée du crinrin (fréquences et doses).

CONCLUSION PARTIELLE

L'application de doses croissantes d'azote a eu des effets significatifs au seuil de 5% sur la croissance et la production de biomasse du crinclin au niveau des sites expérimentaux de la FSA et du PCM.

Concernant la courbe de dilution critique de l'azote, les données expérimentales du site de la FSA ont permis d'établir une courbe de dilution critique de l'azote du crinclin. Cette courbe a été réalisée avec les différentes parties de la plante (Feuille, tige, fleurs +fruits) et la plante entière. La courbe de dilution critique de l'azote établie avec les organes de reproduction (fleurs+fruits) ne répond pas aux principes généraux de dilution de l'azote établis par Lemaire *et al.* (1985). Par contre, les autres parties de la plante et la plante entière répondent à ce principe dans l'ordre de précision croissante suivant :

- plante ($y=3,32x^{-0,18}$; $R^2= 0,99$) ;
- feuille ($y= 4,79x^{-0,08}$; $R^2= 0,99$) ;
- tige ($y=1,55x^{-0,19}$; $R^2= 0,92$).

Par ailleurs, l'indice de nutrition azoté calculé à partir de la courbe de dilution critique de l'azote est corrélé avec les paramètres de croissance tels que la taille et le nombre de feuilles ($R^2=0,72$ et $R^2=0,86$ respectivement pour la taille et le nombre de feuilles). Mais cette corrélation n'est pas suffisante pour permettre l'estimation de l'état de nutrition azotée d'un peuplement de crinclin au champ à partir des paramètres de croissance.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Les zones de bas-fonds constituent un important potentiel de développement agricole et doivent être exploitées de façon durable pour combattre la pauvreté en Afrique Subsaharienne. C'est la raison pour laquelle la présente étude focalise son intérêt sur l'amélioration des pratiques de fertilisation azotée dans des zones de bas-fonds du Mono et du Couffo au Sud Bénin.

Au regard des pratiques observées dans les zones de bas-fond d'Agbédranfo et Vovokanmey dans la commune de Dogbo/Couffo et de Houinga dans la commune de Houéyogbé/Mono, la performance des systèmes de culture étudiés pourrait être améliorée à travers : le développement des innovations technologiques qui respectent les normes environnementales ; la formation des producteurs sur les bonnes pratiques ; l'introduction de variétés améliorées (résistantes ou tolérantes aux maladies et ravageurs). Par ailleurs, les pratiques paysannes doivent être prises en compte dans l'élaboration de nouveaux paquets technologiques pour une meilleure prise en compte des réalités socio-économiques des producteurs. Ceci constitue un préalable pour l'adoption des innovations technologique.

La courbe de dilution critique de l'azote que nous avons obtenue pour le crincrin devra être confirmée par une deuxième expérimentation. Après validation, elle pourra être utilisée par la recherche et le développement comme indicateur de diagnostic de l'état azoté d'un peuplement de crincrin et pour établir des programmes de fertilisation azotée raisonnée du crincrin (fréquences et doses). Il conviendra néanmoins de vérifier sa validité dans différentes situations pédologiques et avec différentes variétés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adétonah S., Coulibaly O., Sessou E., Padonou S., Dembélé U., Adégbola P., Adékambli S. (2010).** Perceptions paysannes des contraintes et opportunités de développement et analyse comparative de la rentabilité des systèmes de cultures au Bénin et au Mali. Rapport provisoire pour l'atelier de fin de première phase du projet RAP (7-9 décembre 2010). Cotonou-Bénin, 134P.
- ADRAO (2002).** Compte rendu de la seconde revue régionale de la recherche rizicole. Bouaké, Côte d'Ivoire, 161 pp.
- Saïdou S. (2008).** Cours de biologie du sol, programme 5^{ème} année PV/ FSA, 53P.
- Angus J.F., Mancur M.W. (1985).** Models of growth and development of wheat in relation to plant nitrogen. Australian Journal of Agricultural Research 36: 537-544.
- Arakongné S. T. (2009).** Optimisation des doses de combinaison de fertilisation organique et minérale pour la productivité des légumes feuilles traditionnels : cas de *Sesamum radiatum*, *Justicia tenella* et de *Ceratotheca sesamoïdes*. Mémoire d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 115P.
- Attère F. (1999).** Note introductive de l'atelier sur les légumes feuilles. In Biodiversity of traditional leafy vegetables in Africa. CHWEY J.A., EYZAGUIRE P.(Ed)., International plant Genetic Resources institute (IPGRI) via delle sette chiese 14200145 Rome, Italie, 150P.
- Bailey J. M. (2003).** Aliments du Pacifique: les feuilles vertes que nous mangeons. Version française du manuel de la CPS n° 31, 2000. Service de publication du Secrétariat général de la communauté du pacifique (CPS), Graphoprint, Nouméa. 97p.
- Baize D. (2000).** Guide des analyses en Pédologie. 2^{ème} édition, INRA, Paris-France, P 158-194.
- Banque Mondiale (2003).** Rapport sur le développement dans le monde 2003, Développement durable dans un monde dynamique. Améliorer les institutions, la croissance et la qualité de vie, Eska, Paris (France). 241p.
- Bélanger G., Walsh J.R., Richards J.E., Milburn P.H. et Ziadi N. (2001).** Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in Eastern Canada. American Journal of Potato Research 78(5): 355-364.
- Boyer J. (1982).** Étude de la fertilité des sols dans l'agriculture paysanne canbécennes, Projet TSDA 0178 F, Orstom-Martinique, 127 p.
- Colnenne C., Meynard J.M., Reau R., Justes E. et Merrien A. (1998).** Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. Annals of Botany 81: 311- 317.
- DGR/CBF (2002).** Inventaire et mise en valeur des bas-fonds au Bénin. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche, Bénin, 70p.
- Diouf M., Dieme O., Gueye M., Faye B. et Ba C. (2003).** Contribution of the African leafy vegetable to the food security in Senegal. Institute Senegalese de Recherche Agricoles (ISra), Dackar Sénégal, 157P.
- Djouara H. (1999).** Diversité des pratiques paysannes en zones cotonnières du Mali: Portée et limites des gestions d'itinéraires techniques observées. Actes de séminaires, 1^{er} -2 septembre 1999, Montpellier, France, 238P.

- FAO (1996).** Combattre la faim et la malnutrition. Sommet mondial de l'alimentation. Rome, Italie, P 13-17.
- FIDA (2001).** Evaluation de la pauvreté rural en Afrique de l'ouest et du centre, rapport d'étude du Fonds International de Développement Agricole, Rome, 113P.
- Gastal F. & Lemaire G. (2002).** N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 53(370): 789-799.
- Girard N. (2006).** Catégoriser les pratiques d'agriculteurs pour reformuler un problème en partenariat. Auzeville Tolosane, 31326 Castanet Tolosan cedex France, cahiers agriculture vol. 15, mai-juin 2006, 12P.
- Godard C., Roger-Estrade J., Jayet P.A., Brisson N. et Le Bas C. (2008).** Use of available information at a European level to construct crop nitrogen response curves for the regions of EU, France Agro Paris Tech, Elsevier, 15P.
- Gonzalez Dugo M.V. (2006).** Effet du deficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragère, Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers/Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées(FSAFA), 189P.
- Greenwood D.J., Gastal F., Lemaire G., Draycott A. Millard P. et Neeteson J.J. (1991).** Growth rate and %N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany* 67: 181-190.
- Grubben G.J.H. & Denton O.A. (2004).** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 2: légume, Fondation PROTA 2, Wageningen, Pays Bas, Backhys Publishers, P 69-252.
- Hikosaka K., Terashima I. et Katoh S. (1994).** Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the distribution of nitrogen among leaves of a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. *Oecologia* 97: 451-457.
- Hirose T., Werger M.J.A. (1987).** Nitrogen use efficiency in instantaneous and daily photosynthesis of leaves in the canopy of *Solidago altissima* stand. *Physiologia Plantarum* 70: 215-222.
- Huat J. (2008).** Diagnostic sur la variabilité des modes de conduite d'une culture et de leurs conséquences agronomiques dans une agriculture fortement soumise aux incertitudes : cas de la tomate de plein champ à Mayotte, (Agro Paris Tech), 265p.
- Jeuffroy M.H., Ney B., Ourry A. (2002).** Integrated physiological and agronomic modeling of N capture and use within the plant. *Journal of Experimental Botany* 53(370): 809-823.
- Juste E., Mary B., Meynard J.M., Machet J.M. et Thelier-Huche L. (1994).** Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops, in *Annals of Botany*, P 397-407.
- Kumar N., Krishnamoorthy V., Nalina L. et Soorianathasundharam K. (2002).** A new factor for estimating total leaf area in banana, In *INFOMUSA*, P 42-43.
- Lawani C. (1985).** The effect of poultry manure and inorganic fertilizer on growth, development, leaf yield and nutrient up take of two varieties of *Corchorus olitorius* (TCO3 and TCO4), Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur agronome, FSA, 112P.
- Lecoeur J. & Sinclair T.R. (2001).** Analysis of nitrogen partitioning in field pea resulting in linear increase in nitrogen harvest index. *Field Crops Research* 71: 151- 158.
- Lemaire G. & Meynard J.M. (1997).** Use of the nitrogen nutrition index for the analysis of agronomical data. En: *Diagnosis of nitrogen nutrition in crops*, P 45-55. Ed: G. Lemaire. Springer-Verlag, Berlin.

- Lemaire G., Recous S. et Mary B. (2008).** Managing residues and nitrogen in intensive cropping systems. New understanding for efficient recovery by crops. Proceeding of the 4th International Crop Science Congress (Brisbane).
- Lemaire G. & Salette J. (1984).** Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4(5) : 423-430.
- Lemaire, G. & Gastal, F. (1997).** N uptake and distribution in plant canopies. En : *Diagnosis on the nitrogen status in crops*. Ed : G. Lemaire. Heidelberg, Springer-Verlag, 3-43.
- Lozet J. & Mathieu C. (2002).** Dictionnaire des Sciences du sol. quatrième édition, Lavoisier, Londres-Paris-New york, 575P.
- MAEP (2008).** Plan Stratégique de Relance du Secteur Agricole (PSRSA). Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, Bénin.
- MAEP, URP-MC et PROTOS (2004).** Programme d'aménagement pilote de sept bas-fonds dans les départements du Mono – Couffo : Dossier d'exécution des travaux d'aménagement du bas-fond Houinga-Houégbé (commune de Houéyogbé), 34 p.
- MAEP, URP-MC et PROTOS (2008a).** Dossier d'exécution des travaux d'aménagement du bas-fond de Vovocanmey (commune de Dogbo), 32 p.
- MAEP, URP-MC et PROTOS (2008b).** Dossier d'exécution des travaux d'aménagement du bas-fond Houinga-Houégbé (commune de Houéyogbé), 16 p.
- Mallouhi N. (1997).** Manuel d'interprétation des analyses du sol et principales caractéristique des substances organiques et compost. FSA/UNB. 20p.
- Midingoyi G. S. (2003).** Evaluation économique des technologies d'intensification de la production rizicole : cas du système bas-fond dans les villages de Gomé et de Gankpetin dans les communes de Glazocé et de Dassa-zoumé au centre Bénin. Mémoire d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 156P.
- Milleville P. (1972).** Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, 17: 23-37.
- Milleville P. (1976).** Comportement technique sur une parcelle de cotonnier au Sénégal. *Cah. Orstom, sér.*
- Nathalie B. (1999).** L'indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel.
http://devirevues.demonet.inist.fr/bitstream/handle/2042/5426/135_150.pdf?sequence=1.
- Nkoa R., Desjardins Y., Tremblay N., Querrec L., Baana M. et Knoa B. (2003).** A mathematical model for nitrogen demand quantification and a link to broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) glutamine synthetase activity. *Plant Science* 165: 483- 496.
- Noura Z., Marianne B., Gilles B., Athyna N.C., Nicolas T., Michel C.N., Annie C. et Léon-Etienne P. (2008).** Critical Nitrogen curve and Nitrogen Nutrition Index for Corn in Eastern Canada, in *Agronomy journal*, volume 100, issue 2.
- Olaniyi J.O. and Ajibola A.T., (2008).** Growth and Yield Performance of *Corchorus olitorius* Varieties as Affected by Nitrogen and Phosphorus Fertilizers Application, in *American Eurasian Network for Scientific Information*, 2(3), P 234-241.
- Olesen J.E., Berntsen J., Hansen E.M., Petersen B.M., Petersen J. (2002).** Crop nitrogen demand and canopy area expansion in winter wheat during vegetative growth. *European Journal of Agronomy* 16: 279-294.

- Overman A.R., Robinson D., Wilkinson S.R. (1995).** Coupling of dry matter and nitrogen accumulation in ryegrass. *Fertiliser Research* 40: 105-108.
- Pichot J. (1996).** Diversité des systèmes de cultures intertropicaux: un défi pour l'action. CIRAD – SAR, BP 5035, Montpellier cedex, France, cahiers agriculture 1996, 5P.
- Plénet D. & Lemaire G. (2000).** Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil* 216: 65-82.
- PNUD (2008).** Rapport sur le Développement Humain 2007-2008, Sér. Biol, New York. 24P
- Rifav B.T.K. (2001).** Effect of Nitrogen on yield and quality of choysum in Hanoi Peri-urban area, INRA-CIRAD, project Nitrogen Management in tropical Vegetable system.
- Schippers R.R. (2004).** Légumes Africains Indigènes : présentation des espèces cultivées, CTA édition Margraf Publishers, P 410-435.
- Singbo A. (2007).** Mesure d'efficacité des systèmes d'exploitation des bas-fonds dans la région centre du Bénin, DEA, 67p.
- Tayeb A.E. & Persoons E. (1994).** Agronomie moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Hatier, Université Francophones, 544P.
- Van Dobben W.H. (1962).** Influence of temperature and light conditions on dry-matter distribution, development rate and yield in arable crops. *Netherlands Journal of agricultural Science*, P 377-389.
- Van Keulen H. & Seligman N.G. (1987).** Simulation of water use, nitrogen nutrition and growth of a spring wheat crop. *Simulation Monographs*, pp. 310 Pudoc, Wageningen.
- Varian H. R. (2002).** Intermediate Microeconomics – A Modern Approach, sixth ed. W.W. Norton and Company, 728 p.
- Vidal I., Longeri L. et Hétier J.M. (1999).** Nitrogen uptake and chlorophyll meter measurements in spring wheat. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 1-6.

ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs moyenne des paramètres phénologiques par période d'observation

Tableau : Taille moyenne (cm/plant) par traitement et par période (Site –FSA)

traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
T0	19,41± 3,89	29,86± 6,17	45,44± 11,11	67,63± 19,15	85,38± 13,62	94,75± 10,53
T1	19,44± 0,65	36,33± 0,89	51,38± 14,08	70,13± 13,22	97,88± 14,37	98,50± 57,4
T2	26,98± 8,99	39,92± 7,67	56,94± 14,83	73,38± 21,37	109,75± 30,29	118,00± 3,52
T3	21,91± 3,24	34,42± 5,30	58,63± 10,55	83,63± 5,14	104,63± 3,15	120,25± 9,74
T4	16,02± 0,96	33,24± 5,03	52,63± 4,50	75,88± 5,34	102,75V 11,36	118,25± 6,90
T5	21,12± 3,75	37,06± 5,48	57,3813,49	76,7511,24	98,25± 13,85	110,50± 9,15

SAR= semaine après repiquage

Tableau : Taille moyenne (cm/plant) par traitement et par période (Site –PCM)

Traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR	8SAR
Moy T0	37,53± 0,01	37,14± 14,61	48,35± 47,47	216,11± 136,86	380,68± 372,21	407,68± 254,12	549,08± 298,03
Moy T1	26,78± 0,01	66,40± 46,16	196,53± 136,79	183,24± 54,04	526,91± 178,53	594,47± 117,08	815,10± 356,97
Moy T2	47,64± 0,02	75,12± 29,74	164,47± 105,30	271,22± 147,85	1043,84± 568,85	1079,85± 456,14	1408,43± 423,98
Moy T3	18,49± 0,01	47,93± 51,76	171,04± 75,92	432,97± 240,12	985,54± 624,33	890,95± 254,01	1211,31± 629,29
Moy T4	17,17± 0,003	32,59± 26,42	90,30± 65,59	350,67± 167,89	668,80± 447,04	1233,13± 633,63	1308,64± 886,73

SAR= semaine après repiquage

Tableau : Nombre de feuilles par plant et par période (Site de la FSA)

traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
T0	22,75 ± 9,27	39,00± 12,11	73,00± 27,98	120,00± 45,87	163,25± 62,18	215,50± 81,81
T1	23,75 ± 3,40	45,25 ± 5,74	99,50± 16,90	164,25± 27,62	223,50± 37,93	294,50± 49,90
T2	34,25± 11,27	65,00± 13,39	147,50± 35,26	243,00± 57,96	330,50± 78,78	436,25± 103,84
T3	32,50 ± 2,38	57,25 ± 10,34	143,00± 17,01	235,75± 28,59	320,75± 38,78	423,25± 50,01
T4	17,50 ± 0,58	47,75 ± 6,66	121,75± 23,04	200,00± 37,67	272,25± 51,68	359,50± 67,70
T5	26,00± 3,56	56,25± 11,15	143,50± 29,73	236,25± 49,09	321,25± 66,58	424,00± 88,09

SAR= semaine après repiquage

Tableau : Nombre de feuilles par plant et par période (Site du PCM)

Traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR	8SAR
T0	8,75± 1,71	13,25± 2,98	26,25± 4,64	30± 6,78	48,25± 28,54	61,75±29,53	77,75± 38,12
T1	9± 0,82	18,25± 9,36	34± 26,70	30,5± 10,34	73,25± 24,64	81,25± 12,45	117± 49,71
T2	9,75± 1,71	22,75± 5,38	37,25± 9,50	51,5± 15,26	102± 16,87	149,5± 49,60	203,25± 51,20
T3	7,25± 1,26	15 ± 8,75	34,25± 12,37	45,25± 14,01	80,5± 30,09	120,25± 29,94	163,5± 61,11
T4	7,75± 0,50	14,25± 9,50	25± 11,58	41,75± 10,56	77,75± 31,42	163,25± 78,61	162,25± 87,23

SAR= semaine après repiquage

Annexe 2: valeurs moyennes de la biomasse fraîche et sèche produite par période d'observation

Tableau : Poids moyen de la biomasse fraîche totale (t/ha)(Site de la FSA)

traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
T0	0,52 ± 0,34	0,91 ± 0,46	2,76± 2,01	5,54± 3,24	7,49± 4,35	12,13± 1,04
T1	0,64± 0,15	1,60± 0,17	4,04± 1,90	6,17 ± 2,56	16,40± 1,42	16,49± 5,82
T2	1,03± 0,60	2,12± 1,65	6,15± 2,85	5,97± 0,73	12,24± 3,15	19,81± 3,88
T3	0,93± 0,08	1,88± 0,79	6,02± 1,10	12,53± 2,85	19,72± 2,93	30,43± 2,96
T4	0,31± 0,03	1,53± 0,61	4,70± 2,54	10,09± 2,23	14,89± 2,97	28,57± 4,12
T5	0,63± 0,25	2,03± 0,90	6,32± 3,24	10,87± 5,06	16,63± 6,31	16,22± 2,41

SAR= semaine après repiquage

Tableau : Poids moyen de la biomasse fraîche totale (t/ha)(site du PCM)

traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR	8SAR
T0	0,11± 0,04	0,14± 0,05	0,35± 0,10	0,84± 0,54	1,88± 1,95	2,00± 1,23	3,02± 1,81
T1	0,09± 0,03	0,24± 0,19	0,74± 0,77	0,74± 0,23	2,64± 1,11	2,99± 0,71	5,01± 2,46
T2	0,12± 0,12	0,29± 0,13	0,76± 0,38	1,73± 0,70	5,54± 3,07	6,50± 1,94	9,18± 3,04
T3	0,06± 0,03	0,19± 0,21	0,56± 0,44	1,77± 1,03	4,90± 3,22	4,60± 1,56	7,80± 4,56
T4	0,06± 0,01	0,10± 0,07	0,34± 0,34	1,26± 0,80	3,87± 2,83	6,42± 3,62	7,49± 5,07

SAR= semaine après repiquage

Annexe 3 : Valeurs moyenne de la surface foliaire et de l'indice de surface foliaire

Tableau : Surface foliaire en Cm² par plant -FSA

Traitement	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
moyen T0	163,34± 110,14	239,52± 103,35	646,14± 389,81	1117,14± 552,07	1410,11± 796,77	2207,37± 29,63
moyen T1	182,87± 30,71	476,96± 178,78	898,88± 388,39	1299,26± 417,32	3297,00± 713,62	2935,81± 947,33
moyen T2	273,22± 135,02	521,68± 329,37	1354,26± 552,80	1256,36± 58,69	2380,26± 589,58	3183,99± 802,80
moyen T3	254,04± 16,65	500,60± 134,90	1323,83± 259,90	2460,90± 603,10	3583,90± 820,24	5357,98± 239,74
moyen T4	105,39± 19,67	441,40± 224,12	1124,10± 564,59	2050,52± 409,80	2453,92± 306,67	4890,59± 560,97
moyen T5	184,18± 60,80	504,29± 162,52	1426,83± 549,09	2115,43± 948,49	2954,18± 545,54	2884,52± 417,17

Tableau : Indice de surface foliaire en m²/m² FSA

traitements	2SAR	3SAR	4SAR	5SAR	6SAR	7SAR
moyen T0	0,18 ± 0,12	0,27± 0,11	0,72± 0,43	1,24± 0,61	1,57± 0,88	2,45± 0,03
moyen T1	0,20± 0,03	0,53± 0,20	1,00± 0,43	1,44± 0,46	3,66± 0,79	3,26± 1,05
moyen T2	0,30± 0,15	0,58± 0,37	1,50± 0,61	1,40± 0,07	2,64± 0,66	3,54± 0,89
moyen T3	0,28± 0,02	0,56± 0,15	1,47± 0,29	2,73± 0,67	3,98± 0,91	5,95± 0,27
moyen T4	0,12± 0,02	0,49± 0,25	1,25± 0,63	2,28± 0,46	2,73± 0,34	5,43± 0,62
moyen T5	0,20± 0,07	0,56± 0,18	1,59± 0,72	2,35± 0,05	3,28± 1,16	3,21± 0,46

Annexe 4 : résultats d'ANOVA des paramètres chimiques du sol

Résultat d'ANOVA pour le pH du sol de la FSA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	3	0.29857143	0.09952381	4.66	0.0140
Traite	6	1.05357143	0.17559524	8.22	0.0002

Résultat d'ANOVA pour la teneur en carbone organique (Corg) du sol de la FSA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	3	0.00045039	0.00015013	0.06	0.9811
Traite	6	0.14719671	0.02453279	9.48	<.0001

Résultat d'ANOVA pour le phosphore total (Ptot) du sol de la FSA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	3	24934.16099	8311.38700	1.85	0.1741
Traite	6	99516.16519	16586.02753	3.69	0.0143

Résultat d'ANOVA pour la CEC du sol de la FSA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	3	0.28571429	0.09523810	1.00	0.4155
Traite	6	22.85714286	3.80952381	40.00	<.0001

Résultat d'ANOVA pour la somme des bases échangeables (S) du sol de la FSA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	3	0.09711671	0.03237224	2.28	0.1139
Traite	6	3.70598786	0.61766464	43.52	<.0001

Résultat d'ANOVA pour le taux de saturation (V) du sol de la FSA

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Rep	3	2.1160475	0.7053492	0.92	0.4527
Traite	6	232.7099812	38.7849969	50.39	<.0001

Annexe 5 : caractéristiques chimiques des échantillons de sols

Tableau : Caractéristiques chimiques du sol de la FSA et du PCM avant essai

traitements	pH		Corg %	N-total	C/N	P (ppm)		Base échangeables (méq/100g)				CEC	V (%)
	eau	Kcl				total	ass	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S		
FSA	5,48± 0,21	5,28± 0,13	0,83± 0,04	0,053± 0,02	15,67± 1,04	204,02± 8,77	47,61± 3,89	1,68± 0,08	1,84± 0,23	0,12± 0,02	3,64± 0,27	11,00	33,07± 0,26
PCM	5,39± 0,08	5,30± 0,04	0,59± 0,05	0,044± 0,007	13,43± 2,40	414,64± 24,11	66,54± 5,61	1,55± 0,09	1,33± 0,23	0,08± 0,02	2,96± 0,34	9,00	32,85± 1,77

Tableau : Caractéristiques chimiques du sol de la FSA après essai

traitements	pH		Corg %	N-total	C/N	P (ppm)		Base échangeables (méq/100g)				CEC	V (%)
	eau	Kcl				total	ass	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S		
FSA-T0	5,80± 0,15	5,54± 0,06	0,81± 0,05	0,051± 0,01	16,00± 1,00	273,03± 22,65	63,84± 6,74	1,61± 0,16	1,24± 0,02	0,79± 0,02	3,46± 0,20	9,00	28,68± 2,17
FSA-T1	5,42± 0,28	5,36± 0,16	0,63± 0,01	0,054± 0,02	11,71± 0,47	299,35± 138,73	58,43± 4,42	1,58± 0,08	0,77± 0,09	0,75± 0,02	3,11± 0,02	11,00	28,25± 0,20
FSA-T2	5,27± 0,18	5,04± 0,26	0,69± 0,03	0,055± 0,03	12,57± 0,66	343,46± 80,39	56,05± 4,73	1,78± 0,03	0,40± 0,01	0,36± 0,04	2,54± 0,01	8,00	31,81± 0,14
FSA-T3	5,49± 0,18	5,37± 0,22	0,72± 0,08	0,064± 0,06	11,28± 1,11	403,22± 54,44	59,04± 5,57	1,68± 0,02	0,89± 0,04	0,33± 0,01	2,90± 0,01	9,00	32,26± 0,14
FSA-T4	5,39± 0,11	5,36± 0,14	0,66± 0,04	0,064± 0,08	10,27± 1,87	359,11± 75,75	59,05± 3,06	1,70± 0,03	1,01± 0,02	0,38± 0,02	3,09± 0,05	9,00	34,35± 0,46
FSA-T5	5,13± 0,04	5,09± 0,10	0,78± 0,05	0,072± 0,05	10,93± 0,81	319,27± 15,72	62,13± 1,48	1,69± 0,04	1,25± 0,02	0,37± 0,02	3,31± 0,05	10,00	33,14± 0,47

Tableau : Caractéristiques chimiques du sol du PCM après essai

traitements	pH		Corg %	N-total	C/N	P (ppm)		Base échangeables (méq/100g)				CEC	V (%)
	eau	Kcl				total	ass	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	S		
PCM-T0	5,58± 0,21	5,39± 0,18	0,70± 0,02	0,041± 0,009	17,04± 2,11	316,13± 62,31	66,74± 6,64	1,49± 0,05	0,69± 0,05	0,15± 0,01	2,32± 0,11	8,00	27,26± 4,39
PCM-T1	5,41± 0,07	5,14± 0, 06	0,59± 0,06	0,044± 0,002	13,35± 1,72	303,62± 24,48	66,46± 5,19	1,59± 0,01	0,33± 0,06	0,10± 0,01	2,02± 0,07	7,00	27,56± 1,10
PCM-T2	5,36± 0,15	5,15± 0,24	0,60± 0,06	0,046± 0,002	12,96± 0,88	309,31± 17,07	62,77± 5,25	1,53± 0,04	0,22± 0,02	0,12± 0,01	1,87± 0,06	7,00	25,23± 0,91
PCM-T3	5,24± 0,08	5,10± 0,11	0,46± 0,01	0,048± 0,001	9,61± 0,40	270,89± 38,42	65,45± 4,43	1,58± 0,08	0,40± 0,04	0,29± 0,03	2,27± 0,07	8,00	28,26± 0,92
PCM-T4	5,35± 0,23	5,17± 0,23	0,53± 0,04	0,057± 0,004	9,29± 0,60	268,76± 14,94	67,89± 3,72	1,61± 0,03	1,00± 0,03	0,32± 0,02	2,93± 0,03	9,00	32,57± 0,37

Annexe 6 : description de la méthode des Analyses chimiques au laboratoire

Le seul paramètre chimique déterminé dans la biomasse est l'azote total. La méthode de détermination est la même que pour l'analyse du sol. Les différentes analyses faites sur les échantillons de sols se présentent comme suit :

1. **Le pH** : il est déterminé par la méthode potentiométrique dans un rapport sol / eau distillée de 1,25 et matière organique/eau distillée de 1/5.
2. **Azote total** : la méthode utilisée est la méthode de Kjeldahl qui consiste en une digestion du sol suivi de la distillation. La digestion se fait avec de l'acide sulfurique, dans un rapport sol/acide égal à $\frac{1}{2}$ en présence de catalyseur d'azote. Ainsi, 5g de sol plus 3g de catalyseur puis 10mL d'acide sulfurique ont été mélangés et digérés sous hotte sur un minéralisateur pendant deux heures. Après la digestion du sol, 40mL de NaOH à 25% ont été ajoutés au sol digérés puis le mélange obtenu a été distillé. En effet, au cours de la distillation, l'azote contenu dans l'échantillon de sol minéralisé, remonte sous forme de vapeur dans le distillateur. Cette vapeur d'azote est refroidie par un système de refroidisseur, se condense et est ensuite récupérée dans un piège, contenu dans l'elenmayer, composé d'un mélange de 20ml d'acide borique et de quatre gouttes de rouge de méthyle. On obtient ainsi un mélange purement basique qui est ensuite titré avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,1N.
3. **Carbone organique** : la méthode utilisée ici est celle d'Anne Modifiée. Elle consiste à l'oxydation de la matière organique du sol avec du dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N en milieu acide (H_2SO_4 concentré) dans un rapport sol / $K_2Cr_2O_7$ égale à 1/10. La teneur en Carbone est déterminée par colorimétrie à la longueur d'onde de 650nm. Pour les intrants organiques, le Carbone a été déterminé par incinération au four à 525°C, après le passage à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Ceci permet de déterminer le taux de matière organique qui est ensuite convertie en Carbone organique par la formule suivante : $\%Corg = \%MO / 1,724$ (avec Corg = Carbone organique et MO = matière organique).
4. **Le phosphore assimilable** : il est déterminé suivant la méthode de Bray 1. Le sol est mélangé avec la solution d'extraction (mélange de fluorure d'ammonium à 1M et de l'acide chlorhydrique à 0,5M) dans un rapport sol /solution d'extraction égal à 1/10. Le mélange obtenu est ensuite filtré et le filtrat est coloré par le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique à 1%. Ensuite le mélange est porté en bain marie à 60°C où la coloration se développe pendant 10 minutes. Après un refroidissement à la température

ambiante, l'intensité de la coloration est déterminée au colorimètre à la longueur d'onde de 660 nm.

5. **Le Phosphore total** : il a été déterminé par la méthode de Duval qui consiste à attaquer à chaud le sol en présence du HNO_3 concentré 1 N. Le filtrat est ensuite coloré avec le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique. Puis porté en bain marie où on laisse la coloration se développer pendant 10 minutes. L'intensité de la coloration est déterminée au colorimètre à la longueur d'onde de 650 nm.
6. **La CEC** par la méthode qui consiste à saturer le complexe d'échange à l'acétate d'ammonium (1N) à $\text{pH} = 7$ puis à déplacer les ions NH_4^+ par une solution de KCl (1N) et doser l'azote après distillation.
7. **Les Bases échangeables (Ca, Mg, K)** ont été déterminées par la méthode de Metson à acétate d'ammonium (1N) à $\text{pH} = 7$. Le dosage des cations s'est fait par Spectrophotométrie à Absorption Atomique.
8. **La granulométrie** : elle a été déterminée par la méthode internationale avec l'utilisation de la pipette de ROBINSON. Qui consiste à ajouter un dispersant, agiter mécaniquement pendant deux heures et à procéder au prélèvement des particules de différentes tailles en suspensions.

Annexe 7 : Photos des différents traitements au 37^{ème} Jours Après Repiquage





Vue générale du site expérimental de la FSA respectivement à 2 SAR et 5 SAR



Vue générale du site expérimental de la FSA respectivement à 1 SAR et 5 SAR



Achatines consommant les feuilles du crincri

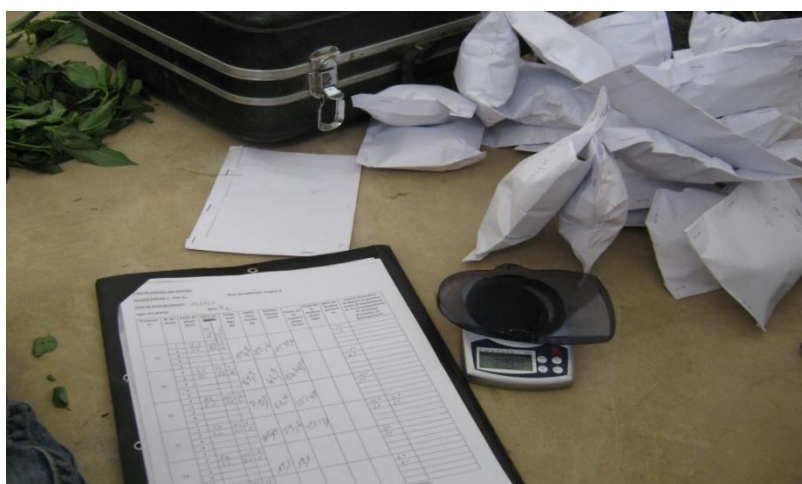


Les coupes de grillons (*Gryllus campestris*) fréquemment constatées pendent les deux premières semaines après repiquage

Annexe 8 : Photos des principaux matériels utilisés



Appareil de mesure de la surface foliaire (Area meter LI-3000A)



Petite balance électronique utilisée



Etuve utilisée pour le séchage de la biomasse

Annexe 9 : guide d'entretien

Fiche : Suivi de l'itinéraire technique d'une parcelle

Culture: (preciser la culture)

Localité:

Producteur:

Système :

Code parcelle I_I_I_I_I

Localisation parcelle :

Saison, de décrue
2009:

Superficie de la parcelle suivie :
I_I_I, I_I_I m2

Superficie totale cultivée : I_I_I,
I_I_I m2

Variété (s) :
.....
..

Précédents sur la parcelle			Saison de crue 2009		Saison de décrue 2008		Saison de crue 2008		saison de décrue 2007				
Culture													
Superficie cultivée													
Production en tonnes													

OPERATIONS CULTURALES	DUREE		MAIN D'OEUVRE						PRODUITS			MATERIELS			OBSERVATIONS	
	Date	Durée	Familiale		Extérieure*				Nom	Quantité et unité	Prix unitaire	Nom	Quantité et unité	Prix unitaire		
	début	en jours ou heures	Nb. adultes	Nb. enfants	Quantité	Unité	Prix unitaire	Coût total								

1/Pépinière															
Préparation des planches															
Semis															
Traitement phyto 1															
Traitement phyto 2															
Engrais organique															
Engrais minéral															
Arrosage															
2) Préparation de la parcelle															
Défrichement															
labour															
Planage															
Billonnage															
Réfection et entretien manuel															
3) Plantation ou semis															
															Observation
Plantation															Ecartement
Remplacement															Nb plts/ poquet

									<i>t</i>						la parcelle
Traitement 1															Type d'appareil :
Traitement 2															Contenanc e de l'appareil :
Traitement 3															Nb pulvérisat.
Traitement 4															
Traitement 5															
Traitement 6															
6) Désherbage															Outils utilisés :
Premier désherbage															
2è désherbage															Préciser si un buttage pendant le sarclage
3è désherbage															
4è désherbage															
5è désherbage															

7) Irrigations																
Pré-irrigation (avant labour)																
Pré-irrigation (avant plantation)																
Première irrigation																
2ème irrigation																
3ème irrigation																
4ème irrigation																
8) Autre											Outils utilisés :					
Démarrage																
9) Récolte et conditionnement																
1er récolte																
2ème récolte																
3ème récolte																
10) Main d'oeuvre permanente									Rappel superficie totale cultivée :							
									Rappel superficie parcelle enquêtée :							

* Précisez si la main-d'oeuvre extérieure est salariée ou sous forme d'entraide.

**** Données importantes** pour évaluer correctement les rendements. Si le producteur possède plusieurs parcelles de la culture, **veillez à ne considérer que la production de la parcelle enquêtée**

Annexe 10 : fiche de collecte des données de l'essai

Localité (INRAB=1 ; FSA=2):

Nom du collecteur:

Date de prise de mesure :

Agés des plants:

Bloc:.....

Traitement	N° du plant	Taille du plant (Cm)	Nbre de feuille	Poids frais tige (g)	Poids frais feuille (g)	Surface foliaire (Cm²)	Poids de la matière sèche feuille	Poids de la matière sèche tiges	Nbre de feuilles perforées	Observations
T0	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
T1	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
T2	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
T3	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
T4	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
T5	1									
	2									
	3									
	4									
	5									

